

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής &

Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου

Περιβάλλοντος



« Μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος
θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη
καλλιέργειας τομάτας »

Πτυχιακή Διατριβή

Τζαβάρα Σταυρούλα

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Κίττας

Βόλος 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 1406/1
Ημερ. Εισ.: 21-01-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2007
ΤΖΑ

**« Μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος
θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη
καλλιέργειας τομάτας »**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Κ. Κίττας (Επιβλέπων)

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Γ. Νάνος (Μέλος)

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ι-Α. Χα (Μέλος)

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής

Γεωργικές Κατασκευές

Αναπληρωτής Καθηγητής

Δενδροκομία

Αναπληρωτής Καθηγητής

Σποροπαραγωγή και Τεχνολογία Σπόρου

Τζαβάρα Σταυρούλα

**« Μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος
θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη
καλλιέργειας τομάτας »**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών κ. Κίττα Κωνσταντίνο για την ανάθεση αυτού του θέματος και την εμπιστοσύνη του από την αρχή αυτής της συνεργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Λέκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κ. Κατσούλα Νικόλαο και τον Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κ. Μπαρτζάνα Θωμά για το ενδιαφέρον τους, τις χρήσιμες υποδείξεις τους καθώς και διορθώσεις αυτής της ερευνητικής εργασίας.

Στους αναπληρωτές καθηγητές κ. Γ. Νάνο και κ. Α. Χα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή και τη διόρθωση αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω επίσης στη οικογένεια μου για την πολύτιμη ηθική υποστήριξη και όχι μόνο που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου έτσι ώστε να περατωθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της ερευνητικής εργασίας.

Περίληψη

Η καλλιέργεια των κηπευτικών στα θερμοκήπια είναι πλέον ευρύτατα διαδεδομένη. Ένας από τους πιο σημαντικούς κλιματολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και απόδοση των φυτών στα θερμοκήπια είναι η θερμοκρασία. Υπάρχουν διάφορα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες ασχολούνται αρκετά με την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ένα από τα συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης το οποίο χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια. Κατά την πειραματική διαδικασία για την μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας (*Lycopersicon esculentum*) που αναπτύσσονταν σε θερμοκήπιο στην περιοχή των Αλυκών-Βόλου. Στο μισό θερμοκήπιο υπήρχαν σωλήνες παθητικού συστήματος θέρμανσης κατά μήκος του θερμοκηπίου και των γραμμών φύτευσης της καλλιέργειας, ενώ στο άλλο μισό υπήρχε μόνο η συμβατική θέρμανση του θερμοκηπίου. Οι μετρήσεις αφορούσαν το ύψος των φυτών, τον αριθμό των κόμβων, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, τον αριθμό των ταξιανθιών, το μήκος και το πλάτος των φύλλων. Επίσης, μετρήθηκε ο αριθμός ανοιχτών και κλειστών ανθέων και καρπών ανά ταξιανθία. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φυτά δεν επηρεάζονται από την παρουσία του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης, καθώς δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα μεγέθη που μετρήθηκαν, ούτε υπήρχε κάποια γενικότερη εμφανή μακροσκοπικά διαφοροποίηση στην μορφολογία των φυτών, στις δύο διαφορετικές περιοχές του θερμοκηπίου.

Επίσης όμως γινόταν και μετρήσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο. Διαπιστώθηκαν μικρές διαφορές μεταξύ των κλιματικών συνθηκών στους δύο χώρους του θερμοκηπίου. Μάλλον αυτό οφείλεται στο ότι οι δύο μεταχειρίσεις βρίσκονταν στο ίδιο θερμοκήπιο και έτσι και το κλίμα στο χώρο του μάρτυρα επηρεαζόταν από το σύστημα θέρμανσης που υπήρχε μόνο στον άλλο χώρο. Ίσως αυτό να ήταν η αιτία που δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις που αφορούσαν την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Τα θερμοκήπια.....	9
1.2 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων.....	9
1.3 Καλλιεργούμενα λαχανικά στα θερμοκήπια.....	10
1.4 Το φυτό της τομάτας.....	12
1.4.1 Περιγραφή του φυτού.....	12
1.4.2 Αύξηση και ανάπτυξη του φυτού.....	14
1.4.3 Συνθήκες ατμόσφαιρας των θερμοκηπίων.....	15
1.4.3.1 Θερμοκρασία.....	15
1.4.3.2 Σχετική υγρασία του αέρα.....	16
1.4.3.3 Εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα(CO ₂).....	16
1.5 Συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων.....	16
1.5.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης	17
1.5.2 Ενεργειακά προβλήματα των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης.....	25
1.5.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	25
1.6 Σκοπός της εργασίας.....	30
2. Θεωρητική ανάλυση.....	31
2.1 Ενέργεια.....	31
2.1.1 Μετάδοση της θερμότητας.....	31
2.1.2 Λανθάνουσα Θερμότητα.....	32
2.1.3 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.....	33
2.2 Ισοζύγιο ενέργειας	33
2.3 Κέρδη και απώλειες ενέργειας.....	36
2.4 Προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή των ήπιων μορφών ενέργειας.....	37
3. Υλικά και Μέθοδοι	40
3.1 Η τοποθεσία.....	40
3.2 Το θερμοκήπιο.....	40
3.3 Αερισμός-Θέρμανση.....	40
3.4 Η καλλιέργεια.....	40
3.5 Καλλιεργητικές τεχνικές.....	40

3.6 Πραγματοποίηση των μετρήσεων.....	41
3.6.1 Μετρήσεις των φυτών	41
3.6.2 Κλιματικές μετρήσεις.....	42
 4. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	44
4.1 Κλιματικές μετρήσεις	44
4.2 Μετρήσεις μεγεθών των φυτών στο θερμοκήπιο	52
 5. Συμπεράσματα	57
 6. Βιβλιογραφία.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Τα θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια είναι μια ανακάλυψη στη γεωργική παραγωγή που σχετίζεται με την επίτευξη προϊόντων υψηλής ποιότητας και μέγιστου κέρδους. Στη σημερινή εποχή όπου παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση λαχανικών σε αντιδιαστολή με τον περιορισμό της καλλιεργήσιμης γης, η τεχνολογία των θερμοκηπίων αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική λύση για την καλύτερη δυνατή αποτελεσματική χρήση γης και άλλων πόρων (Mahagan and Singh, 2006). Τα θερμοκήπια τα οποία θεωρούνται ένα σύστημα καλλιέργειας υπό κάλυψη, χρησιμοποιούνται ευρύτατα παρέχοντας και διατηρώντας ένα ελεγχόμενο περιβάλλον κατάλληλο για βέλτιστη παραγωγή που οδηγεί σε υψηλά κέρδη (Harmanto et al., 2005).

1.2 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων

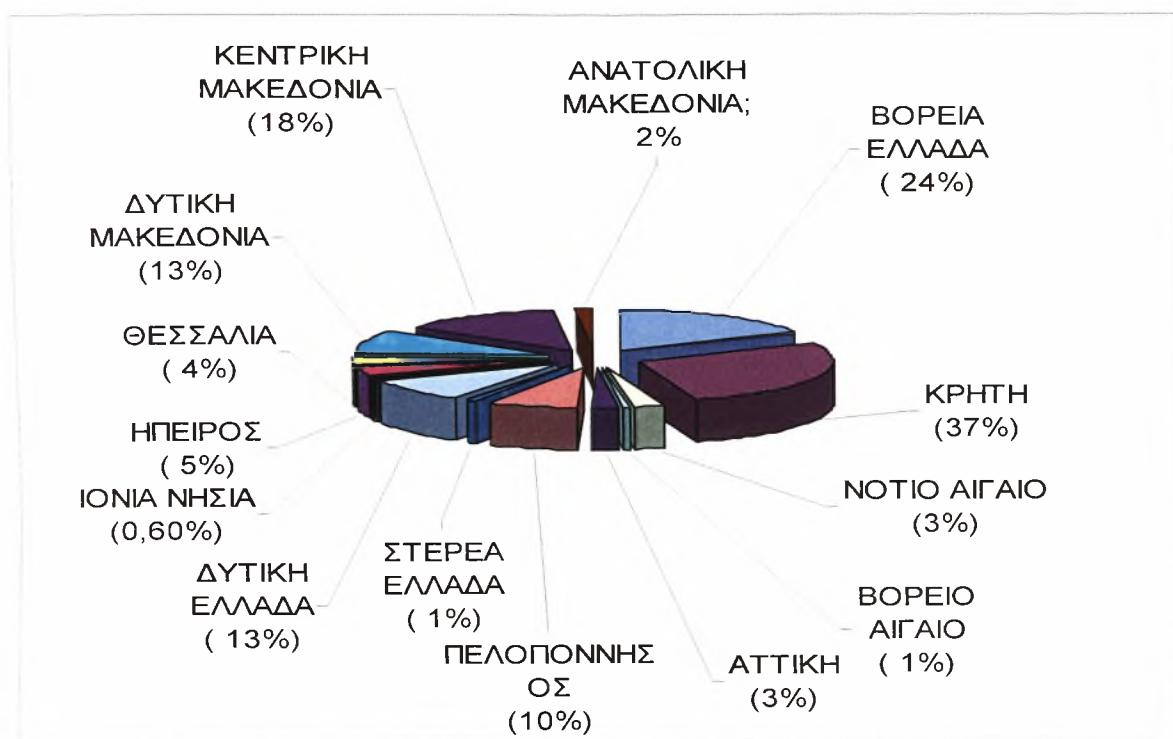
Η ανάπτυξη των θερμοκηπίων στις μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Νότια Γαλλία) εξαπλώθηκε την τελευταία εικοσαετία (Κίττας, 2001).

Στην Ελλάδα σύμφωνα με πρόσφατα αποτελέσματα της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2004, η έκταση των θερμοκηπίων ανέρχεται στα 45.000 στρέμματα για την καλλιέργεια των λαχανικών, ενώ για την καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών ανέρχεται στα 4.000 στρέμματα (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2004).

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα ακολουθεί κατά κανόνα την κλιματική διαφοροποίηση των επί μέρους περιοχών. Περισσότερες εκτάσεις θερμοκηπίων συναντώνται στις πλέον ευνοϊκές από πλευράς κλίματος (ήπιοι χειμώνες, απουσία παγετών κ.λπ.) περιοχές. Υψίστης σημασίας είναι η παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων χωρίς ή με ελάχιστη ανάγκη πρόσθετης θέρμανσης (Ολύμπιος, 2001).

Στην Κρήτη (Ιεράπετρα, Τυμπάκι, Παλαιόχωρα) συναντάται σχεδόν το μισό των θερμοκηπιακών εκτάσεων σε ποσοστό 37 % λόγω ευνοϊκού κλίματος, έπεται η Βόρεια Ελλάδα με ποσοστό 24 %, ενώ περιοχές με σημαντική έκταση θερμοκηπίων θεωρούνται η Δυτική Ελλάδα με 13 % και η Πελοπόννησος με 10 %.

Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζονται οι εκτάσεις των θερμοκηπίων σε διάφορες περιοχές της χώρας.



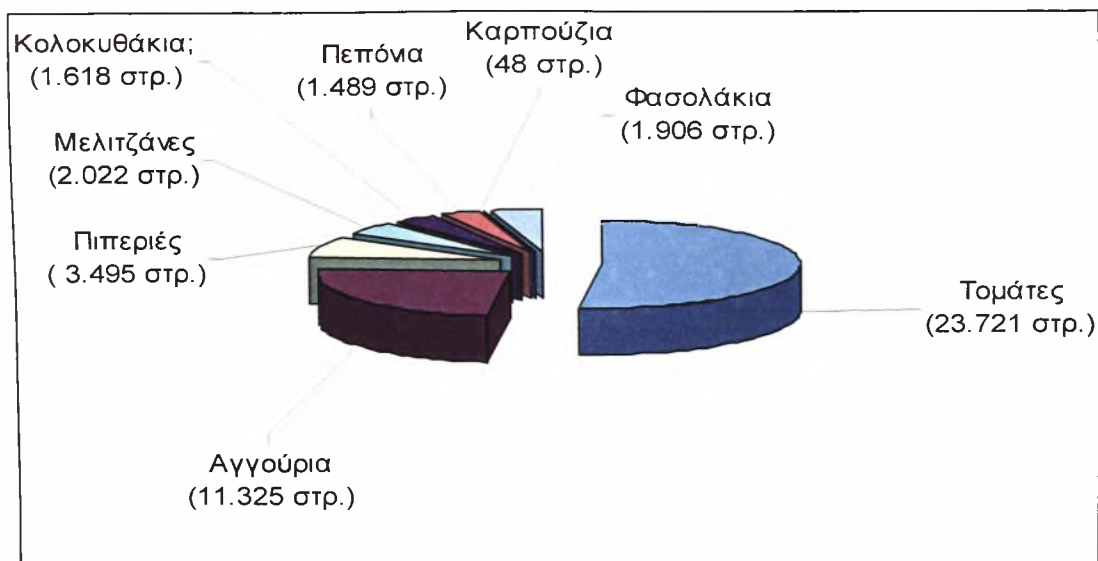
Εικόνα 1.1. Θερμοκηπιακές εκτάσεις της Ελλάδας
(πηγή: απογραφή γεωργίας – κτηνοτροφίας έτους 1999/2000)

1.3 Καλλιεργούμενα λαχανικά στα θερμοκήπια

Ένας σημαντικός αριθμός λαχανικών θερμής εποχής, (με εξαίρεση το μαρούλι) καλλιεργείται στα θερμοκήπια για παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής τους χειμερινούς μήνες. Τα πλέον σημαντικά λαχανικά είναι η τομάτα και το αγγούρι, τα οποία καταλαμβάνουν το 75 % της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων (τομάτες το 50% και αγγούρι 25%). Οι εκτάσεις σε στρέμματα που καταλαμβάνουν τα διάφορα είδη λαχανικών που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια ως κύρια και δευτερεύοντα καλλιέργεια και η παραγωγή σε τόνους κατά το 1997-98 δίνονται στις εικόνες 1.2 και 1.3 (Ολύμπιος, 2001).



Εικόνα 1.2. Παραγωγή λαχανικών στα θερμοκήπια σε τόνους στην Ελλάδα την καλλιεργητική περίοδο 1997-98



Εικόνα 1.3. Συνολική έκταση κηπευτικών σε στρέμματα που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια κατά την καλλιεργητική περίοδο 1997-98 στην Ελλάδα

Επομένως, η τομάτα είναι ένα από τα κύρια και πιο δημοφιλή λαχανικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια. Σε υπαίθρια καλλιέργεια, οι αποδόσεις και η ποιότητα είναι μικρές εξαιτίας της επίδρασης των χαμηλών θερμοκρασιών κατά τη χειμερινή περίοδο, που επηρεάζουν την ανάπτυξή τους. Έτσι, τα θερμοκήπια αποτελούν τη καλύτερη λύση για παραγωγή καλής ποιότητας και ποσότητας προϊόντων (Mahagan and Singh, 2006).

1.4 Το φυτό της τομάτας

Η τομάτα είναι γνωστή στην Ευρώπη από τον 16^ο αιώνα. Πιθανότατα κατάγεται από τη Ν. Αμερική ή / και το Μεξικό, όπου άγριες μορφές της ευρίσκονταν αυτοφυείς. Από τις άγριες αυτές μορφές φαίνεται ότι προέρχονται οι καλλιεργούμενες σήμερα ποικιλίες του *Lycopersicum esculentum* της οικογένειας Solanaceae. (Δημητράκης, 1998)

Η τομάτα είναι κατά κανόνα ετήσιο λαχανικό, αρκετά διαδεδομένο και πολύ δημοφιλές. Σε διεθνή κλίμακα, η καλλιέργεια της τομάτας καταλαμβάνει την τρίτη σε έκταση θέση ενώ στην Ελλάδα η επιτραπέζια τομάτα καταλαμβάνει τη δεύτερη σε έκταση θέση. Καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό. Οι λόγοι που καθιστούν την τομάτα δημοφιλές λαχανικό είναι πολλοί. Οι σπουδαιότεροι είναι ότι εφοδιάζει τον ανθρώπινο οργανισμό με βιταμίνες, και ιδίως τη βιταμίνη c, έχει ελκυστικό χρώμα και ιδιαίτερο άρωμα, γεγονός που την καθιστά αρεστή στην διατροφή. Ποικιλίες της έχουν εγκλιματιστεί σε ένα μεγάλο εύρος τύπων εδάφους και κλίματος. Η μορφή καλλιέργειας της τομάτας ποικίλλει από την εκτατική έως την εντατική. (Ολύμπιος, 2001)

1.4.1 Περιγραφή του φυτού

Το φυτό αποτελείται από ένα βλαστό 1-2 μέτρα μακρύ, έρποντα και με πολλές διακλαδώσεις, ο οποίος στηρίζεται με τη βοήθεια υποστηριγμάτων (Clufoolini, 1980).

Ο κεντρικός βλαστός φέρει τα πραγματικά φύλλα, στις μασχάλες των οποίων υπάρχουν οφθαλμοί που δίνουν πλευρικούς βλαστούς. Πολλές φορές, οι πλευρικοί βλαστοί που βρίσκονται κοντά στην κορυφή του φυτού είναι τόσο ζωντοί, που με δυσκολία μπορεί κανείς να ξεχωρίσει ποιος είναι ο κεντρικός βλαστός και ποιος είναι ο πλευρικός. Είναι σημαντικό κατά το κλάδεμα να μπορεί να ξεχωρίσει ο κλαδευτής τον κεντρικό από τον πλευρικό βλαστό. Το σχήμα του βλαστού είναι κυλινδρικό και εσωτερικά είναι πλήρης (Ολύμπιος, 2001).

Τα φύλλα της τομάτας (Εικόνα 1.4) εμφανίζονται επί των βλαστών εναλλάξ, είναι σύνθετα και αποτελούνται συνήθως από 7,9 ή και 11 φυλλάρια. Στην επιφάνεια τους όπως και στους βλαστούς υπάρχουν αδενώδεις τρίχες, οι οποίες θραυόμενες αναδίδουν τη χαρακτηριστική οσμή του φυτού (Δημητρακάκης, 1998).



Εικόνα 1.4: Τα φύλλα της τομάτας

Τα **άνθη** της τομάτας (Εικόνα 1.5) είναι ερμαφρόδιτα, κατά κανόνα αυτογονιμοποιούμενα και είναι τοποθετημένα σε ταξιανθία που έχει 4-12 άνθη, από τα οποία συνήθως προκύπτουν 2-8 καρποί. Η πρώτη ταξιανθία σχηματίζεται μετά τον 3ο έως τον 5ο κόμβο και οι επόμενες ακολουθούν κατά 2-3 κόμβους. Οι ταξιανθίες εκφύονται στο χώρο των μεσογονατίων διαστημάτων (Papadopoulos, 2000).



Εικόνα 1.5. Το άνθος της τομάτας

Ο **καρπός** (Εικόνα 1.6) είναι πολύχωρη ράγα με σχήμα που ποικίλει στις διάφορες ποικιλίες, σφαιροειδές, πρισμένο στους πόλους ή επίμηκες, με περικάρπιο (φλοιό) λείο και λεπτό, μεσοκάρπιο (σάρκα) χυμώδες, κόκκινο και σπόρους πολυάριθμους, δισκοειδείς, τραχιάς επιφάνειας, ελαιούχους. Το βάρος του καρπού κυμαίνεται αναλόγως κυρίως με την ποικιλία, από 50 έως 200 συνήθως γραμμάρια. Ως προς το χρώμα, αυτό μπορεί να είναι κόκκινο έως κιτρινοκόκκινο αναλόγως της περιεχόμενης του καρπού καροτίνης (κίτρινο) και

λικοπίνης (κόκκινο), υπάρχουν όμως επίσης και ποικιλίες με καρπούς χρώματος εντελώς κίτρινου (Δημητρακάκης, 1998).



Εικόνα 1.6. Καρπός τομάτας

Η **ρίζα** είναι χοντρή και εισχωρεί βαθιά στο έδαφος. Η καλλιέργεια απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, που χορηγείται σε κανονικά χρονικά διαστήματα, για να αποφύγουμε με το πολύ νερό το σπάσιμο του φυτού και το σχίσιμο των καρπών. Οι ρίζες απορροφούν σημαντικές ποσότητες καλίου αλλά απαιτούν επίσης εδάφη που περιέχουν φώσφορο. Το άζωτο, το οποίο χορηγείται στην επιφάνεια του εδάφους όταν μεγαλώσουν οι καρποί, ευνοεί την αύξηση του βάρους. Το ασβέστιο πρέπει να εμπεριέχεται επίσης σε αρκετή ποσότητα στο έδαφος, ενώ το φυτό δεν υποφέρει από χλώριο (Clufoini, 1980).

1.4.2 Αύξηση και ανάπτυξη του φυτού

Η αύξηση και ανάπτυξη είναι μια άλλη βασική και χαρακτηριστική εκδήλωση της ζωής στα φυτά όπως είναι η θρέψη, η διαπνοή και η αναπνοή. Είναι μια σειρά από διαδοχικές μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές στο φυτό στη διάρκεια της ζωής του από το φύτευμα μέχρι το θάνατο του. Η αύξηση και ανάπτυξη παρατηρείται και είναι απαραίτητη στο κύτταρο, στους ιστούς και στα όργανα του φυτού (Λόλας, 2000).

Η αύξηση αναφέρεται στην αύξηση του βάρους ή του όγκου συγκεκριμένου οργάνου ενός φυτού ή του φυτού στο σύνολο του κατά το χρονικό διάστημα μιας συγκεκριμένης φάσης ή σ' όλη τη βλαστική περίοδο (Βιολογικό κύκλο) (Δαλέζιος, 2002). Άρα πρόκειται για αποκλειστικά ποσοτική μεταβολή μη αναστρέψιμη, η οποία συντελείται με την αύξηση της φυτικής ουσίας ή τη μεγέθυνση των ζωντανών μερών (Τσέκος, 2003).

Ανάπτυξη είναι η εμφάνιση μιας φάσης ή σειράς φάσεων κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Για παράδειγμα η άνθηση του φυτού είναι ανάπτυξη ενώ η επιμήκυνση

του βλαστού είναι αύξηση (Δαλέζιος, 2002). Επομένως η ανάπτυξη αντιπροσωπεύει ποιοτική μεταβολή κατά την οποία οι υπάρχουσες μορφές ή λειτουργικές δράσεις μετατρέπονται σε άλλες (Τσέκος, 2003) .

1.4.3 Συνθήκες ατμόσφαιρας θερμοκηπίου

Από τους κλιματολογικούς παράγοντες αυτοί που επηρεάζουν περισσότερο την ανάπτυξη και απόδοση του φυτού είναι η θερμοκρασία, το φως, η σχετική υγρασία του αέρα και η συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα. (Γραφιαδέλλης, 1987).

1.4.3.1 Θερμοκρασία

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία παίζει αποφασιστικό ρόλο στη συμπεριφορά του φυτού της τομάτας επηρεάζει το ρυθμό της φωτοσύνθεσης και επομένως της ανάπτυξης, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, το πάχος του βλαστού, τη σχέση βλαστού-ρίζας, το σχηματισμό ταξιανθιών, τον αριθμό των ανθέων, την παραγωγή και βιωσιμότητα της γύρης, την καρπόδεση και ανάπτυξη του καρπού, την ποιότητα του καρπού κ.α. Στην απόφαση, όσο αναφορά τα επίπεδα της θερμοκρασίας που θα χρησιμοποιηθούν, λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο οι ανάγκες του φυτού αλλά και το κόστος θέρμανσης (Ολύμπιος, 2001).

Το φυτό της τομάτας στα διάφορα στάδια της ανάπτυξής του έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θερμοκρασία. Για το φύτευμα των σπόρων έχει βρεθεί ό,τι η καλύτερη θερμοκρασία είναι 29-30⁰C με ελάχιστη ανεκτή τους 9-10⁰C. Στο στάδιο του σπορείου επιδιώκεται η εξασφάλιση θερμοκρασίας αέρα 15,6-18,3⁰C. Μετά τη μεταφύτευση της τομάτας στα θερμοκήπια, οι απαιτήσεις των φυτών σε θερμοκρασία επηρεάζονται από την ένταση του φωτός, την συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα, την ποσότητα των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και από διάφορους άλλους παράγοντες (Γραφιαδέλλης, 1987)

Έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο δεν πρέπει να κατέρχεται κάτω των 3,5⁰C τη νύχτα, γιατί τότε μειώνεται σημαντικά η ανάπτυξη του φυτού και η φυσιολογική καρπόδεση, έστω και αν την ημέρα οι θερμοκρασίες είναι υψηλές πάντως όχι μεγαλύτερες των 27,5⁰C γιατί και πάλι μειώνεται η ζωηρότητα του φυτού, η παραγωγή και η ποιότητα των καρπών κ.α., εάν δε ξεπερνά τους 30⁰C προκαλείται ανθόρροια (Ολύμπιος, 2001).

Σε πειράματα που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι για την κανονική ανάπτυξη του φυτού τομάτας απαιτείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μέρας και νύχτας 3-4⁰C και ότι όταν η διαφορά είναι μικρότερη, τότε επιβραδύνεται κατά πολύ η ωρίμανση των καρπών και τα φυτά εμφανίζουν χαρακτηριστικές χλωρώσεις.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι την ημέρα η άριστη θερμοκρασία είναι 21-26⁰C, η ελάχιστη βιολογική 13⁰C και η μέγιστη 32⁰C και για τη νύχτα η άριστη 14-17⁰C, η ελάχιστη βιολογική 8-10⁰C και η ελάχιστη θανατηφόρα 0-1⁰C.

Έχει βρεθεί ότι η άριστη θερμοκρασία αέρα για τη γονιμοποίηση των ανθέων της τομάτας κυμαίνεται ανάμεσα στους 21-29⁰C ενώ για την ανάπτυξη του καρπού η άριστη θερμοκρασία αέρα την ημέρα είναι 23-25⁰C και τη νύχτα 14-17⁰C (Γραφιαδέλλης, 1987).

Πολύ λίγες πληροφορίες υπάρχουν σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας του εδάφους στο φυτό της τομάτας, και αυτές που υπάρχουν είναι αντιφατικές. Γενικά συνιστώνται θερμοκρασίες εδάφους γύρω στους 14⁰C. Όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι κάτω από τους 13⁰C μειώνεται η ανάπτυξη και η λειτουργία της ρίζας, και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να πέσει κάτω από 10⁰C ακόμη και στα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια (Ολύμπιος, 2001).

1.4.3.2 Σχετική υγρασία του αέρα

Με τη ρύθμιση της σχετικής υγρασίας του αέρα επιδιώκεται κυρίως ο περιορισμός της ανάπτυξης ασθενειών. Σε σχετικά πειράματα βρέθηκε ότι η άριστη επιθυμητή υγρασία της ατμόσφαιρας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 60-70% Σ.Υ για να είναι το ποσοστό προσβολής από ασθένειες ελάχιστο. Από άλλες έρευνες βρέθηκε ότι σε σχετική υγρασία αέρα 90% εμποδίζεται η κίνηση των γυρεόκοκκων, ενώ σε χαμηλή σχετική υγρασία αέρα 50% ξεραίνεται το στίγμα και δεν προσκολλούνται οι γυρεόκοκκοι. Από τις ίδιες έρευνες διαπιστώθηκε ότι για τη γονιμοποίηση των ανθέων η άριστη σχετική υγρασία είναι 70% (Γραφιαδέλλης, 1987).

1.4.3.3 Εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα(CO₂)

Η εφαρμογή της ανθρακολίπανσης (= εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου με CO₂) έδωσε τις πιο εντυπωσιακές αυξήσεις στην απόδοση των φυτών θερμοκηπίου, που μπορούν να συγκριθούν με τις επαναστατικές αυξήσεις στις αποδόσεις που επέφερε η χρήση των χημικών λιπασμάτων (Ολύμπιος, 2001).

1.5 Συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων

Ένα **σύστημα** θέρμανσης για να είναι κατάλληλο για το θερμοκήπιο πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις

- α) Να εξασφαλίζει την κατάλληλη θερμοκρασία που χρειάζονται οι καλλιέργειες.
- β) Να διανέμει τη θερμότητα ομοιόμορφα στο θερμοκήπιο.
- γ) Να χρησιμοποιεί οικονομικά καύσιμα υλικά τα οποία να βρίσκονται εύκολα στην περιοχή.

δ) Να είναι εγγυημένης κατασκευής για να μην κινδυνεύουν από πιθανή βλάβη του οι καλλιέργειες

ε) Να επισκευάζονται εύκολα (Ανώνυμος, 1999)

1.5.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης

Η θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να δοθεί με τους παρακάτω τρόπους:

1. Τοπικά συστήματα θέρμανσης

- α) Θερμάστρες παραφίνης,
- β) Θερμάστρες επαγωγής,
- γ) Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας,
- δ) Αερόθερμα (ηλεκτρικά, υγραερίου, πετρελαίου, στερεών καυσίμων).

2. Κεντρικά συστήματα θέρμανσης

- α) Καυστήρες παραγωγής θερμού νερού,
- β) Καυστήρας παραγωγής ατμού.

(Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1α) Θερμάστρες παραφίνης

Οι θερμάστρες παραφίνης χρησιμοποιούνται μόνο για αντιπαγετική προστασία (κρατούν την θερμοκρασία του χώρου λίγο πάνω από τους 0°C (Ανώνυμος, 1999).

Όταν υπάρχει κίνδυνος παγετού, ανάβονται από τον καλλιεργητή πολλές τέτοιες θερμάστρες στον χώρο του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Το μειονέκτημά τους είναι η μη ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου και τα αέρια της καύσης που παράγονται σε περίπτωση μη καθαρότητας της παραφίνης, τα οποία παραμένουν μέσα στο θερμοκήπιο βλάπτοντας τα φυτά.

(Ανώνυμος, 1999).

1β) Θερμάστρες επαγωγής

Χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρά ή ερασιτεχνικά θερμοκήπια που καλύπτονται με πλαστικό, επειδή έχουν μικρό κόστος. Χρησιμοποιούνται μόνο για αντιπαγετική προστασία. Δεν αυτοματοποιούνται ικανοποιητικά

Τα αέρια της καύσης περνούν από ένα μεταλλικό σωλήνα με λεπτά τοιχώματα και διατρέχουν μια αρκετά μεγάλη διαδρομή μέσα στο θερμοκήπιο, ώσπου να καταλήξουν έξω, αφού έχουν χάσει την περισσότερη θερμότητά τους στο χώρο του θερμοκηπίου. Συνήθως η θερμάστρα τοποθετείται σε μια άκρη του θερμοκηπίου και ο σωλήνα βγαίνει από την

απέναντι. Αυτός ο σωλήνας συχνά διακλαδίζεται σε μικρότερους ή είναι διάτρητος κατά μήκος. (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Ανάλογα με το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε θερμάστρες πετρελαίου, ξύλου, αερίου και ηλεκτρικές. Με τις θερμάστρες πετρελαίου, ξύλου και αερίου υπάρχει το πρόβλημα της διαφυγής των αερίων καύσης στο χώρο του θερμοκηπίου που βλάπτουν τις καλλιέργειες. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος τοποθετείται στην έξοδο απορροφητήρας που τα απομακρύνει. Έτσι διευκολύνεται και η κυκλοφορία των αερίων καύσης (Ανώνυμος, 1999).

Θερμάστρες πετρελαίου: Γίνεται σοβαρή σπατάλη καυσίμων, επειδή μεγάλο μέρος της θερμότητας εκπέμπεται με ακτινοβολία και ορισμένα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων είναι διαπερατά από αυτήν. Με αυτές δεν διανέμεται ομαλά η θερμότητα. Πολλές φορές σημειώνονται διαρροές καυσαερίων που προκαλούν βλάβες στις καλλιέργειες των θερμοκηπίων.

Θερμάστρες ξύλου: χρησιμοποιούν τα φθηνότερα καύσιμα και έχουν πολύ χαμηλό κόστος αγοράς. Ρυθμίζονται πολύ δύσκολα επειδή δίνουν ακανόνιστη θερμότητα και παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα των θερμαστών πετρελαίου.

Θερμάστρες υγραερίου: είναι φτηνές, αναβοσβήνουν πολύ εύκολα, δεν εξαρτώνται από την ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος και παράγουν CO₂. Μπορεί όμως και να παράγουν τοξικά αέρια για τις καλλιέργειες, χρησιμοποιούν ακριβό αέριο και αυξάνουν τη σχετική υγρασία του θερμοκηπίου (Γραφιαδέλλης, 1987).

Σε όλα αυτά τα συστήματα θέρμανσης, τα αέρια της καύσης που προέρχονται από το καύσιμο και τις διάφορες προσμίξεις που έχει το καύσιμο δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με τα φυτά, διότι είναι τοξικά (Μαυρογιαννόπουλος, 1990). Όταν στις θερμάστρες υγραερίου το υγραέριο περιέχει προσμίξεις θείου, μεθανίου κ.α. παράγονται τοξικά για τα φυτά αέρια. Όταν το υγραέριο είναι καθαρό προπάνιο, καίγεται, χωρίς να χρειάζεται μεταφορά των καυσαερίων έξω από το θερμοκήπιο (Γραφιαδέλλης, 1987). Ένα τοξικό αέριο είναι το διοξείδιο του θείου που προέρχεται από την καύση τωνθειούχων προσμίξεων του καυσίμου. Το SO₂, όταν διαλύεται στη μεμβράνη υγρασίας που συχνά βρίσκεται στην επιφάνεια των φυτών, μετατρέπεται σε θειώδες οξύ και συχνά με οξείδωση θειικό. Το οξύ καταστρέφει τα κύτταρα με τα οποία έρχεται σε επαφή. Από την ατελή καύση του καυσίμου επίσης μπορεί να παραχθεί μονοξείδιο του άνθρακα και αιθυλένιο, που συχνά είναι επιζήμιο στα φυτά (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1γ) Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας

Η υπέρυθρη ακτινοβολία στηρίζεται στην παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία στέλλονται από την πηγή απευθείας στην επιφάνεια των φυτών και του εδάφους με αποτέλεσμα τη θέρμανσή τους. Ο αέρας θερμαίνεται εξ' επαγωγής από τα φυτά και το έδαφος. Ως πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται σωλήνες μέσα στους οποίους κυκλοφορεί ρευστό υψηλής θερμοκρασίας. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται ψηλά κατά μήκος του θερμοκηπίου. Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και οι ελάχιστες θερμικές απώλειες. Μειονέκτημα είναι η ανομοιομορφία θέρμανσης στα σκιασμένα μέρη (Ανώνυμος, 1999).

1δ) Αερόθερμα

Η θέρμανση με αερόθερμα χρησιμοποιείται πολύ στο θερμοκήπιο, διότι η αρχική εγκατάσταση στοιχίζει φθηνότερα απ' ό,τι στη θέρμανση με ζεστό νερό. Έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείται εύκολα και δεν παρουσιάζει αδράνεια στην αύξηση της θερμοκρασίας χώρου. Σε πολύ μικρό χρόνο από τότε που ο θερμοστάτης θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει, θερμαίνεται ο αέρας του θερμοκηπίου. Ο χρόνος αυτός στα συστήματα που χρησιμοποιούν ζεστό νερό για την μεταφορά της θερμότητας, είναι αρκετά μεγάλος. Σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων θέρμανσης με αερόθερμα είναι ότι δεν θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος και έχει προβλήματα το ριζόστρωμα. Επειδή υπάρχει έντονη κυκλοφορία του αέρα, ο συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου με συναγωγή γίνεται μεγαλύτερος (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται, τα αερόθερμα διακρίνονται στις εξής ομάδες:

-Ηλεκτρικά αερόθερμα. Ένας ηλεκτρικός ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει μέσα από ηλεκτρικές αντιστάσεις και να θερμανθεί. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε ερασιτεχνικά και πειραματικά θερμοκήπια γιατί αυτοματοποιούνται εύκολα και ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του χώρου με πολλή ακρίβεια. Στοιχίζει ακριβά εξαιτίας του ηλεκτρικού ρεύματος.

-Αερόθερμα πετρελαίου, αερίου ή στερεών καυσίμων. Τα αέρια καύσης που παράγονται στο δοχείο καύσης, κυκλοφορούν σε ένα σύστημα πολλών σωλήνων με λεπτά τοιχώματα (μεταλλάκτης), ενώ ο ανεμιστήρας σπρώχνει τον αέρα να περάσει από το μεταλλάκτη και να πάρει τη θερμότητα. Η λειτουργία του αερόθερμου εξαρτάται από ένα θερμοστάτη.

-Αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού(εικόνες 1.7,1.8, 1.9). Ο ατμός ή το ζεστό νερό προέρχονται από κεντρικό σύστημα και κυκλοφορούν σ' ένα δίκτυο σωλήνων όπου με τη βοήθεια ενός

ηλεκτροκίνητου ανεμιστήρα ωθείται ο αέρας του θερμοκηπίου να περάσει και να θερμανθεί (Ανώνυμος 1999).

Στην αγορά κυκλοφορούν αερόθερμα για κατακόρυφη ή οριζόντια μετακίνηση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Τα κατακόρυφης μεταφοράς παρουσιάζουν σχετική ανομοιομορφία θέρμανσης του χώρου, με αποτέλεσμα ανομοιομορφία στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτό το πρόβλημα περιορίζεται με τα οριζόντιας μεταφοράς αερόθερμα, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα συχνότερα. Άλλα προβλήματα που έχουν τα αερόθερμα είναι η υπερβολική κατανάλωση O₂ για την καύση και τα καυσαέρια. Γι' αυτό τα καλά αερόθερμα παίρνουν τον αέρα καύσης με σωλήνες από τον εξωτερικό χώρο και η καπνοδόχος είναι πάνω από το θερμοκήπιο, αρκετά ψηλή ώστε να μην επιστρέφει ο καπνός στο θερμοκήπιο.

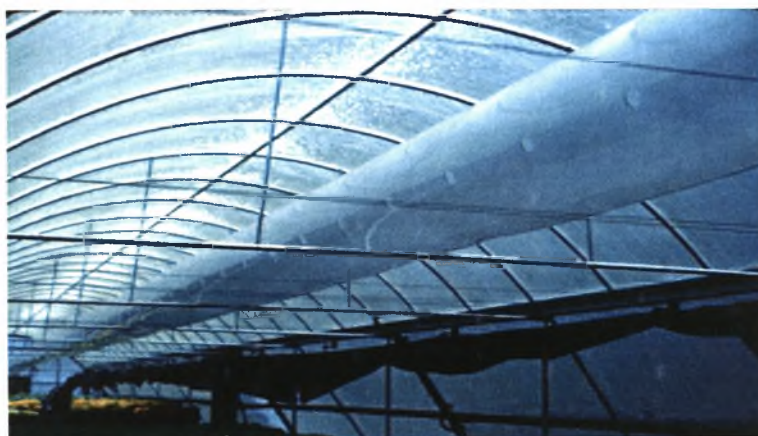
Ο ζεστός αέρας στα μικρά θερμοκήπια κατανέμεται στο χώρο απ' ευθείας από την έξοδο του αερόθερμου, ενώ στα μεγάλα, για πιο ομοιόμορφη κατανομή, μεταφέρεται με σωλήνες που φέρουν κατά μήκος τρύπες απ' όπου βγαίνει και ανακατεύεται με τον γύρω αέρα. (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).



Εικόνα 1.7. Αερόθερμα. Το κεντρικό σύστημα απ' όπου προέρχεται ο ζεστός αέρας



Εικόνα 1.8. Οι πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες, που κατανέμουν το θερμό αέρα, μπορεί να βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους ή να κρέμονται από την οροφή, πάνω από το ύψος των φυτών



Εικόνα 1.9. Κατανομή θερμότητας στο θερμοκήπιο με τον διάτρητο πλαστικό σωλήνα

2. Κεντρικά συστήματα θέρμανσης (εικόνες 1.10, 1.11, 1.12)

Σε αυτά τα συστήματα η θερμότητα παράγεται στον καυστήρα και μεταφέρεται με νερό ή με ατμό που οδηγείται στο θερμοκήπιο με σωληνώσεις. Ο καυστήρας τοποθετείται σε σταθερή θέση μέσα ή έξω από το θερμοκήπιο. Με το σύστημα αυτό θερμαίνεται ομοιόμορφα ο αέρας και το έδαφος του θερμοκηπίου, υπάρχει όμως το μειονέκτημα της μεγάλης αδράνειας. Τα συστήματα αυτά είναι καταλληλότερα για υαλόφρακτα θερμοκήπια με εμβαδόν πάνω από 8 στρέμματα γιατί η λειτουργία και η συντήρησή τους, σχετικά με τη χρήση πολλών αερόθερμων, είναι φθηνότερη (Ανώνυμος, 1999).

Το σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίων με την κυκλοφορία ζεστού νερού είναι αξιόπιστο, ρυθμίζεται αυτόματα με θερμοστάτη, δεν αφήνει καυσαέρια στο χώρο ανάπτυξης των φυτών και δίνει μεγάλα ποσά θερμότητας. Το σοβαρότερο μειονέκτημα του συστήματος είναι το ψηλό κόστος. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι, ότι δεν ενδείκνυται η εφαρμογή του σε θερμοκήπια που σκεπάζονται με πλαστικό πολυαιθυλένιο, επειδή μεγάλο μέρος της θερμότητας παρέχεται με ακτινοβολία, που είναι διαπερατή από τα πλαστικά (Γραφιαδέλλης, 1987).

Στις κεντρικές θερμάνσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν διαφόρων ειδών καύσιμες ύλες, αφού προηγηθούν μικρές τροποποιήσεις. Παλαιότερα, η τοποθέτηση του λέβητα γινόταν σε ξεχωριστό δωμάτιο. Σήμερα τοποθετείται συνήθως στους χώρους εργασίας ή μέσα στο θερμοκήπιο, για να αποφεύγονται οι απώλειες ενέργειας από τα τοιχώματα του καυστήρα και τους σωλήνες μεταφοράς. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που ο καυστήρας τοποθετείται μέσα στο θερμοκήπιο, παρουσιάζεται συνήθως με την υγρασία και τη σκόνη πρόωρη φθορά από διάβρωση. Στα περισσότερα όχι μεγάλης έκτασης θερμοκήπια, η θέρμανση γίνεται με θερμό νερό που παράγεται από λέβητα ζεστού νερού. Στα μεγάλης έκτασης θερμοκήπια προτιμάται ο λέβητας ατμού (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες στην επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων. Διαπιστώθηκε ότι η θέση, το υλικό και το είδος των σωληνώσεων επηρεάζουν αρκετά την κατανομή της θερμότητας και επομένως την αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι σωληνώσεις θερμού αέρα επειδή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας έχουν υψηλή θερμοκρασία συχνά προκαλούν καψίματα στα φυτά. Επίσης με μια διακοπή προκαλεί απότομη μείωση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο σε σχέση με το σύστημα του ζεστού νερού. Συνήθως εγκαθίστανται και μικτά συστήματα. Έτσι, στα μεγάλα θερμοκήπια χρησιμοποιείται καυστήρας παραγωγής θερμού αέρα όπου μέσω μεταλλάκτη θερμαίνεται νερό που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις.

Σπουδαίο ρόλο στην απόκτηση ομοιόμορφης θέρμανσης παίζει η θέση που θα τοποθετηθούν οι σωλήνες διανομής. Οι κεντρικές σωληνώσεις τοποθετούνται χαμηλά για να μην σκιάζουν και στην περιφέρεια του θερμοκηπίου διότι σ' αυτές τις περιοχές η θερμότητα χάνεται πιο γρήγορα. Οι σωληνώσεις θέρμανσης με ζεστό νερό θα πρέπει να κατευθύνονται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών για να μην εμποδίζουν τις εργασίες (Ανώνυμος, 1999).

Στο χώρο των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με σωληνώσεις θερμού νερού ή ατμού δημιουργείται μια κάθετη μεταβολή της θερμοκρασίας $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ για κάθε μέτρο ύψους. Για να αποφευχθεί μια τέτοια στρωμάτωση, που δημιουργεί μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο



θερμοκήπιο και δυσμενείς επιπτώσεις στη ανάπτυξη των φυτών, χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες, που σήμερα το πιο οικονομικό και δημοφιλές σύστημα είναι αυτό που μετακινεί τον αέρα οριζόντια, δημιουργώντας έτσι ένα ελαφρό ρεύμα κίνησης του αέρα στο θερμοκήπιο. Ως ελάχιστη ταχύτητα κίνησης του αέρα θεωρούνται τα 12 m/min, που προκαλούν μια μικρή κίνηση στα μακριά φύλλα της τομάτας. Επίσης χρησιμοποιείται και το μικτό σύστημα απόδοσης θερμότητας, όπου ένα μέρος αποδίδεται με τις σωληνώσεις ζεστού νερού στην περιφέρεια του θερμοκηπίου και το υπόλοιπο με αερόθερμα ζεστού νερού, που προκαλούν και ανάδευση του αέρα στο χώρο (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).



Εικόνα 1.10. Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης



Εικόνα 1.11. Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης



Εικόνα 1.12. Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης

1.5.2 Ενεργειακά προβλήματα των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης

Το ενεργειακό πρόβλημα είναι το κυριότερο πρόβλημα της σημερινής εποχής, από το οποίο εξαρτάται άμεσα η παγκόσμια οικονομία. Τα μέχρι τώρα θερμοκήπια από την κατασκευή τους έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν τις συνθήκες περιβάλλοντος που απαιτούν οι καλλιέργειες και όχι για να εξοικονομούν ενέργεια. Η πετρελαϊκή κρίση όμως ανάγκασε τους ερευνητές και τους καλλιεργητές να καταβάλουν έντονες προσπάθειες για εξοικονόμηση ενέργειας (Γραφιαδέλλης, 1987).

Οι επεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε για εξοικονόμηση ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου αφορούν τρεις τομείς:

1. Τη βελτίωση της κατασκευής του θερμοκηπίου, με σκοπό να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες όσο το δυνατόν περισσότερο, χωρίς να υποβαθμιστεί σοβαρά το επιθυμητό περιβάλλον για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

2. Την προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στο πνεύμα της εξοικονόμησης ενέργειας, και

3. Τη σωστή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο έχουν τεθεί όρια στις εκπομπές των αερίων του «θερμοκηπίου», σε μεγάλες βιομηχανίες κάθε χώρας, που αν ξεπεραστούν, η χώρα θα πρέπει να πληρώσει πρόστιμα. Η χώρα για να αποφύγει τα σχετικά υψηλά πρόστιμα μπορεί ή να αγοράσει δικαίωμα ρύπων από άλλη χώρα που κάνει οικονομία ή να προχωρήσει σε «πράσινες επενδύσεις» σε άλλες χώρες (πχ αναδάσωση). Το κόστος του διοξειδίου του άνθρακα, από 1-1-2008 θα είναι 23 €/τόνο, ενώ σήμερα είναι 0,22 €/τόνο. Σημειώνουμε ότι στην Ελλάδα συνεχίζουμε να εκπέμπουμε αναλογικά υπερβολικούς ρύπους. Μάλιστα οι σταθμοί παραγωγής της ΔΕΗ χαρακτηρίζονται από τους πλέον ρυπογόνους στην Ευρώπη (Ανώνυμος, 2007).

Η μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και των οικονομικών δραστηριοτήτων αλλά και η βελτίωση του οικονομικού επιπέδου, έχουν οδηγήσει σε αλματώδη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί κατά 35-45% μέσα στην επόμενη δεκαπενταετία.

1.5.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συνειδητοποίηση της στρατηγικής σημασίας των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, γαιάνθρακες) και των περιορισμένων ποσοτήτων τους, καθώς και η ανησυχία για τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, οδήγησε στην

εντατικοποίηση της έρευνας για άλλες μορφές ενέργειας. Έτσι, άρχισε η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) (Ανδρίτσος κ.α., 1999).

Στις ΑΠΕ για τα θερμοκήπια υπάγονται

- **Η θέρμανση με γεωθερμικό ρευστό.** Στην Ελλάδα περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για χρήση γεωθερμικού ρευστού χαμηλής ενθαλπίας είναι η Μήλος, η Νίσυρος, η Λέσβος, η κοιλάδα του Σπερχειού, και ορισμένες πεδινές περιοχές της Μακεδονίας και Θράκης.
- **Αντλίες θερμότητας.** Καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά μπορούν να αποσπάσουν θερμότητα από νερό ή αέρα μέσω του εξατμιστή και να την αποδώσουν μέσω του συμπυκνωτή σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία.
- **Θέρμανση με βιομάζα.** Στην περίπτωση αυτή αξιοποιούνται στερεά γεωργικά ή και κτηνοτροφικά υπολλείμματα που είναι ουδέτερα στην επίταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- **Ανάκτηση θερμότητας από βιομηχανίες.** Πχ από τις θερμοηλεκτρικές μονάδες της ΔΕΗ (Ανώνυμος, 1999).
- **Ηλιακή ενέργεια.** Οι κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας και η μεγάλη ηλιοφάνεια, σε συνδυασμό με την <<ενεργειακή ευαισθησία>> της οικονομίας μας, αποτελούν καλές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με ηλιακή ενέργεια. Έτσι, ειδικότερα σήμερα που έχει προσαρμοστεί η εποχή παραγωγής κηπευτικών εκτός εποχής, στις διάφορες κλιματολογικές περιοχές της χώρας (χειμερινή παραγωγή στην Κρήτη, ανοιξιάτικη στην Πελοπόννησο και όψιμη ανοιξιάτικη στη βόρειο Ελλάδα), με ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου έστω και κατά λίγους βαθμούς, δημιουργούνται θεαματικά αποτελέσματα στην αύξηση της παραγωγής και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων θερμοκηπίου (Γραφιαδέλλης, 1987).

Το θερμοκήπιο αποτελεί από μόνο του ένα σύστημα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας.

Το πρόβλημα στη χρήση της ηλιακής ενέργειας έγκειται στο γεγονός ότι δεν είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της νύκτας και μεταβάλλεται ποσοτικά με το χρόνο. Για να γίνει λοιπόν δυνατή η αξιοποίησή της και κατά τη νύκτα θα πρέπει:

- Η ηλιακή ενέργεια να μετατραπεί σε θερμική,
- Να γίνει αποθήκευση της θερμικής ενέργειας ώστε να χρησιμοποιηθεί τη νύκτα.

Η μετατροπή γίνεται:

- α) με ηλιακούς συλλέκτες ατμού ή νερού που τοποθετούνται εκτός του θερμοκηπίου,
- β) με ηλιακό συλλέκτη που αποτελεί στοιχείο της κατασκευής του θερμοκηπίου.

Για την αποθήκευση της ενέργειας συνήθως χρησιμοποιούνται νερό σε δεξαμενές, ηλιακές λίμνες, πέτρες και χαλίκια, έδαφος κ.α. (Ανώνυμος, 1999).

Με ηλιακή ενέργεια έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων που αποτελούνται από το συλλέκτη της ηλιακής ακτινοβολίας, την αποθήκευση θερμότητας και το σύστημα απόδοσης της θερμότητας στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Υπάρχουν δύο ειδών ηλιακά συστήματα:

- i) Ενεργητικά ηλιακά συστήματα (θέρμανση νερού με ηλιακούς συλλέκτες),
- ii) Παθητικά ηλιακά συστήματα (Βιοκλιματική αρχιτεκτονική).

Οι παθητικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας συνίστανται στην χρήση κατασκευαστικών στοιχείων των θερμοκηπίων για τη συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας.

Για τη διανομή της ενέργειας, που συλλαμβάνεται με αυτό τον τρόπο, χρησιμοποιούνται οι φυσικοί μηχανισμοί (αγωγή, μεταφορά, ακτινοβολία), σε αντίθεση με τα «ενεργητικά συστήματα» που χρησιμοποιούν τεχνικά μέσα (αντλίες, ανεμιστήρες κλπ.).

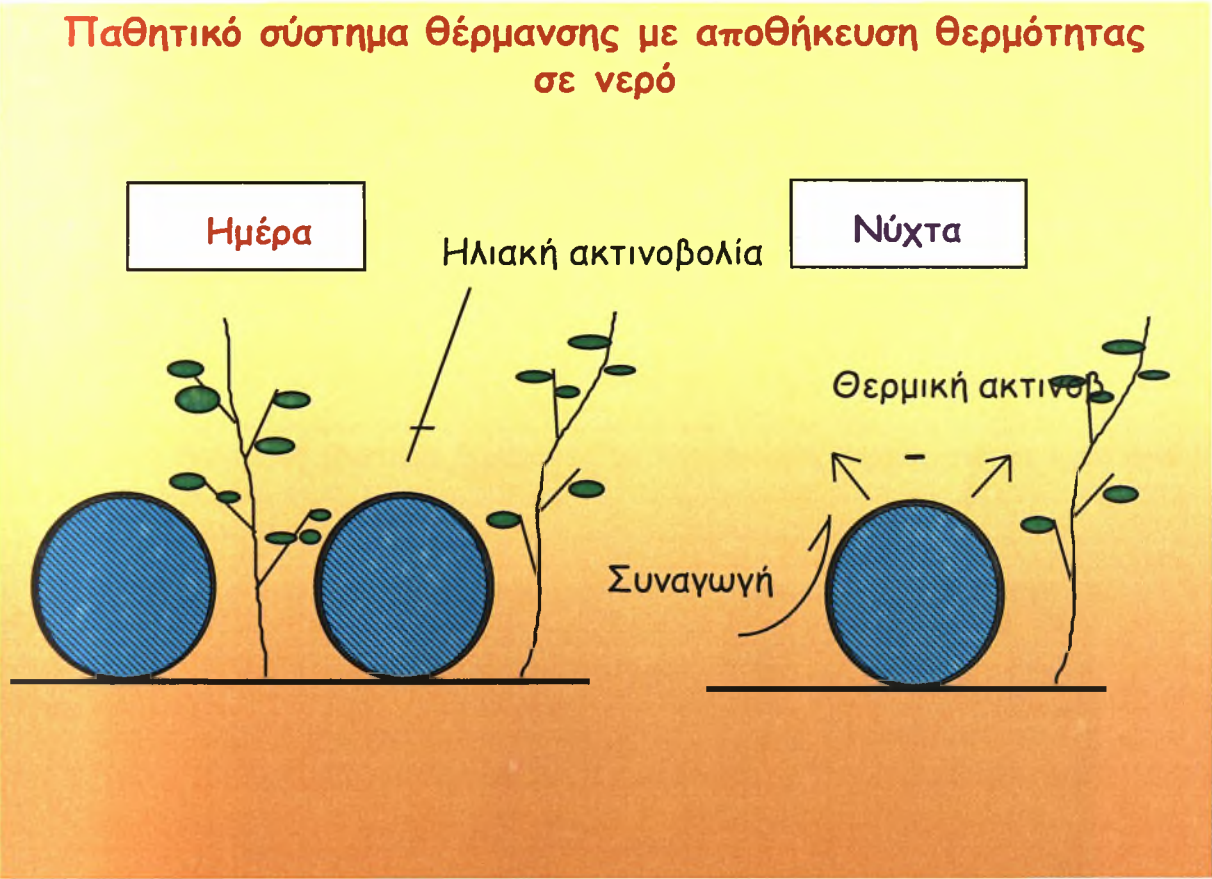
Τα βασικά πλεονεκτήματα των παθητικών ηλιακών συστημάτων συνίστανται στη δυνατότητα σημαντικής ενεργειακής εξοικονόμησης και στην ευκολία εγκατάστασής τους. Το κόστος των παθητικών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη και τη λειτουργία του θερμοκηπίου, δεν διαφέρει σημαντικά από εκείνο των συμβατικών συστημάτων (Υπουργείο Βιομηχ Ενέργειας & Τεχνολογίας, 1989).

Προς το παρόν, τα ηλιακά συστήματα στο θερμοκήπιο έχουν εφαρμοστεί με πλήρη επιτυχία σε λίγες μόνο περιπτώσεις, διότι εμφανίζουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, αλλά και ανεπαρκούς γνώσης νέων μεθόδων. Με τη συνεχή όμως βελτίωση τους και την αύξηση της τιμής των καυσίμων, σύντομα θα εφαρμοστούν με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα σε μεγάλη έκταση (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

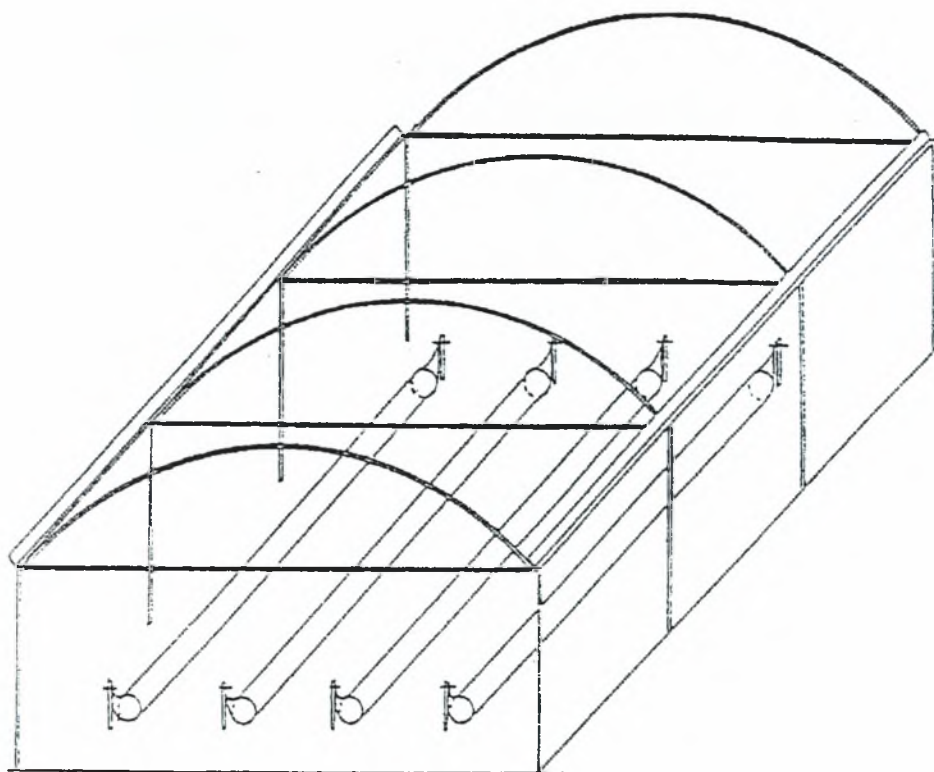
Ένα παθητικό ηλιακό σύστημα για θέρμανση θερμοκηπίου (εικόνες 1.13, 1.14, 1.15) έχει σχεδιαστεί στο τμήμα Λαχανοκομίας του Κέντρου Γεωργικής Έρευνας Βόρειας Ελλάδας (Κ.Γ.Ε.Β.Ε.) και κατασκευάστηκε το 1983. Με το σύστημα αυτό η συλλογή της ηλιακής ενέργειας γίνεται με εύκαμπτες σωλήνες πολυαιθυλενίου που απλώνονται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών και γεμίζουν με νερό. Οι ίδιες σωλήνες χρησιμοποιούνται και για αποθήκευση της ενέργειας και για διανομή της θερμότητας. Για να έχει καλή απόδοση το ηλιακό σύστημα, κάτω από τους σωλήνες του νερού απλώνεται ένα μαύρο φύλλο πολυαιθυλενίου, που συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία, που περνά από το νερό και την

μεταδίδει σ' αυτό. Αυτό πρέπει να είναι μονωμένο από το έδαφος με «αεροπλαστ» (Γραφιαδέλλης, 1987).

Παρόλα αυτά, δεν έχει διερευνηθεί αρκετά η επίδραση του συστήματος αυτού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.



Εικόνα 1.13. Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό



Εικόνα 1.14 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό εντός θερμοκηπίου



Εικόνα 1.15. Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό σε θερμοκήπιο με φυτά τομάτας

1.6 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσης εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας. Για το λόγο αυτό έγινε πείραμα και μετρήθηκε η ανάπτυξη φυτών τομάτας σε δύο διαφορετικά μέρη του θερμοκηπίου με ή χωρίς σωλήνες παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης, με σκοπό την αξιολόγηση του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητική ανάλυση

2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι διάφορες μεταβολές που συμβαίνουν στο περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι αποτέλεσμα των ανταλλαγών ενέργειας που συμβαίνουν μεταξύ των στοιχείων του θερμοκηπίου και μεταξύ αυτών με τον περιβάλλοντα εξωτερικό χώρο. Η μελέτη των ανταλλαγών ενέργειας εκτός από τη βοήθεια που προσφέρει στην κατανόηση των μεταβολών της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, βοηθά και στη σωστή τοποθέτηση των προβλημάτων θέρμανσης και εξαερισμού του θερμοκηπίου, καθώς και στην αξιολόγηση των διαφόρων λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας στο θερμοκήπιο.

Η ενέργεια μπορεί να ανταλλάσσεται υπό μορφή χημικής ενέργειας, θερμότητα, ή μηχανικής ενέργειας. Στην παρούσα εργασία, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μετάδοση της θερμότητας.

2.1.1 Μετάδοση της θερμότητας

Η συνολική θερμότητα ενός υλικού είναι ανάλογη με τη συνολική τυχαία ενέργεια των μορίων του. Η θερμοκρασία είναι το μέτρο της μέσης τυχαίας κινητικής ενέργειας των μορίων ενός υλικού.

Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με *αγωγιμότητα*, *ακτινοβολία* και *επαγωγή*.

α) Αγωγιμότητα

Όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας σ' ένα σώμα, μεταφέρεται ενέργεια από τη θερμότερη περιοχή στην ψυχρότερη μέσω της θερμικής αγωγιμότητας. Ο ρυθμός της μεταφοράς θερμότητας αυξάνει με την έκταση της διατομής μέσω της οποίας η θερμότητα άγεται, με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού αλλά μειώνεται όσο το πάχος του υλικού αυξάνει.

Στα θερμοκήπια έχουμε αγωγή θερμότητας μέσω του υλικού κάλυψης και μέσω του εδάφους.

β) Ακτινοβολία

Κάθε επιφάνεια εκπέμπει και δέχεται θερμική ακτινοβολία. Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα λόγω της θερμοκρασίας τους, με τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων από το ένα επίπεδο ενέργειας σε άλλο ή αλλαγών στην ενέργεια δόνησης και περιστροφής των μορίων. Το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπεται η θερμική ακτινοβολία

είναι μεταξύ 0,2- 100 μm , στο διάστημα αυτό περιλαμβάνεται η ηλιακή ακτινοβολία και η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Τα σώματα που έχουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος εκπέμπουν σε μήκος κύματος 5-40 μm .

Αέρια, όπως οι ατμοί νερού και το διοξείδιο του άνθρακος, μπορούν να απορροφούν και να εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία, αλλά στις συνήθεις περιπτώσεις, μέσα στο θερμοκήπιο η συγκέντρωση στον αέρα είναι τόσο μικρή, ώστε η επίδραση τους είναι αμελητέα.

Εκτός θερμοκηπίου η ανταλλαγή ακτινοβολίας του θερμοκηπίου με τον ουρανό είναι πολύ σημαντική. Ο ουρανός συνήθως υποτίθεται ότι είναι μέλαν σώμα, με θερμοκρασία μεταξύ 0-20⁰K κάτω από τη θερμοκρασία του αέρα. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ουρανό, εξαρτάται επίσης από το πόσο νεφοσκεπής είναι.

γ) Επαγωγή

Η επαγωγή (ή συναγωγή) θερμότητας είναι η διαδικασία κατά την οποία η μεταφορά θερμότητας γίνεται μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού και ενός ρευστού που βρίσκεται σ' επαφή με αυτή. Αν η κίνηση του ρευστού οφείλεται μόνο στις δυνάμεις που προέρχονται από τη μεταβολή πυκνότητας λόγω των διαφορών θερμοκρασίας, αυτό ονομάζεται *ελεύθερη η φυσική επαγωγή*. Αν η κίνηση οφείλεται σε διαφορά πίεσης που προέρχεται από εξωτερικούς παράγοντες, είναι γνωστή σαν *βεβιασμένη επαγωγή*. Και στις δύο περιπτώσεις, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας και του ρευστού, σύμφωνα με τον νόμο ψύξης του Newton, είναι ανάλογος με την έκταση της επιφάνειας, με ένα συντελεστή θερμικής μεταφοράς με επαγωγή και ανάλογος με την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του όγκου του ρευστού.

Σημαντικής σπουδαιότητας στη μελέτη του θερμοκηπίου είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που επηρεάζεται από τον άνεμο στην οροφή του θερμοκηπίου.

2.1.2 Λανθάνουσα Θερμότητα

Η μεταβολή από την υγρά κατάσταση στην αέρια ενός σώματος, συνεπάγεται την απορρόφηση ενέργειας, γνωστή ως λανθάνουσα θερμότητα. Αν το υγρό είναι σε επαφή με μια επιφάνεια, η ενέργεια θα αφαιρεθεί από την επιφάνεια, η οποία κατ' ακολουθία θα ψυχθεί. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν οι ατμοί συμπυκνώνονται και η θερμότητα μεταφέρεται στην επιφάνεια. Η μεταφορά των ατμών προς την επιφάνεια συμβαίνει με στροβιλώδη διάχυση, η οποία εξαρτάται από τη διαφορά συγκέντρωσης των ατμών, και η οποία στην περίπτωση των υδρατμών είναι η διαφορά σε ειδική υγρασία. Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας είναι ανάλογος της επιφάνειας, ενός συντελεστή μεταφοράς, της ειδικής υγρασίας και της πυκνότητας του αέρα.

Στην περίπτωση του θερμοκηπίου η σημαντικότερη περίπτωση που αφορά λανθάνουσα θερμότητα, είναι αυτή της διαπνοής, όπου το νερό εξατμίζεται από τα φύλλα, της εξάτμισης του νερού από το έδαφος και της συμπύκνωσης του νερού στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου. Συμπύκνωση μπορεί να συμβεί μόνον αν η υγρασία κορεσμού στη θερμοκρασία του καλύμματος είναι χαμηλότερη από την απόλυτη υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου.

2.1.3 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται από το διαφανές κάλυμμα του θερμοκηπίου μια δεδομένη στιγμή, θα πρέπει να προσδιορισθεί η ενέργεια που πέφτει στο κάλυμμα και να υπολογισθεί το ποσοστό που το διαπερνά. Για να γίνει αυτό, πρέπει να βρεθεί η θέση του ήλιου στον ουρανό και να υπολογισθεί η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ των ακτίνων και των στοιχείων της επιφάνειας κάλυψης.

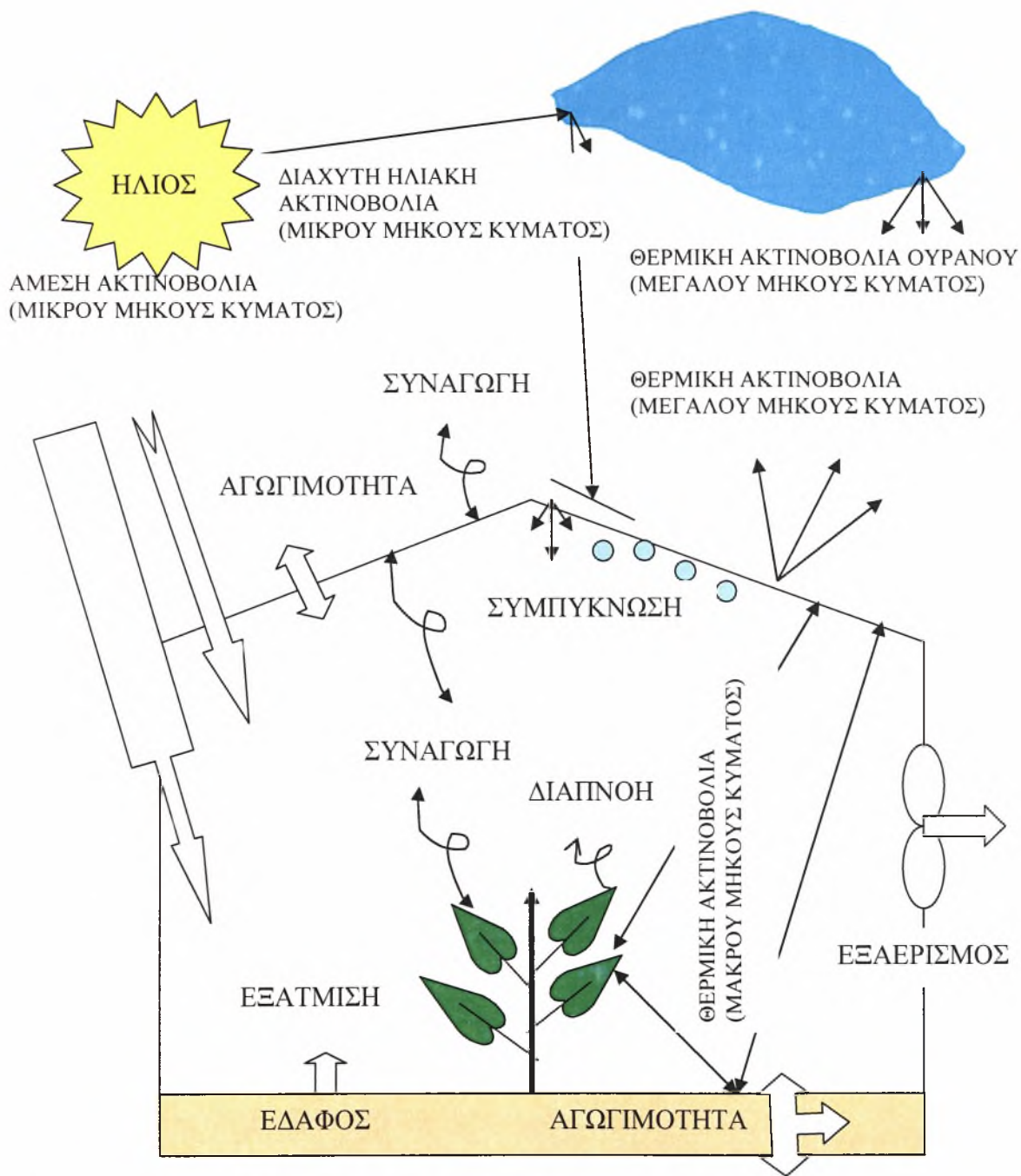
Για τον προσδιορισμό απαιτούνται:

1. Γεωγραφικό πλάτος και μήκος
2. Ημέρα του χρόνου
3. Χρονική στιγμή της ημέρας (ηλιακός χρόνος).
4. Προσανατολισμός της κάθε επιφάνειας – κατεύθυνση και γωνία κλίσης

Ένα μέρος από την ακτινοβολία που περνά το διαφανές κάλυμμα του θερμοκηπίου, ανακλώμενο στις επιφάνειες των φυτών, δημιουργεί διάχυτη ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο, ένα μέρος της οποίας προσβάλλει το διαφανές κάλυμμα από μέσα και εξέρχεται ακολουθώντας την αντίθετη πορεία της διάχυτης ακτινοβολίας που έρχεται από έξω

2.2 Ισοζύγιο ενέργειας

Γενικά για να μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία του αέρα και των φυτών που συμβαίνουν σε δεδομένες εξωτερικές συνθήκες ή για να υπολογιστεί ο ρυθμός εφοδιασμού σε ενέργεια που είναι αναγκαίος για να επιτευχθεί κάποια θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, θα πρέπει να προσδιορισθεί το ισοζύγιο ενέργειας για όλα τα συστατικά του θερμοκηπίου που αλληλεπιδρούν θερμικά. Αυτά συνήθως περιλαμβάνουν τον αέρα, τα φυτά, το έδαφος και το κάλυμμα.



Εικόνα 2.1 Ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον

Κάθε ισοζύγιο ενέργειας συνίσταται από ισότητες που περιγράφουν τις εισροές και εκροές ενέργειας και επίσης το ρυθμό αλλαγής της θερμοκρασίας των συστατικών στην περίπτωση της ανάλυσης συναρτήσεως του χρόνου.

Οι ισότητες του ισοζυγίου ενέργειας δημιουργούνται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία των αλληλεπιδρώντων σωμάτων η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με τη λύση της εξίσωσης.

Το στιγμιαίο ισοζύγιο ενέργειας για τα διάφορα συστατικά του θερμοκηπίου μπορεί να γραφεί όπως ακολούθως:

$$\text{Αέρας: } Q_p + Q_s + Q_c + + Q_v = 0$$

$$\text{Φυτά: } Q_a + Q_{\lambda} + Q_{rs} + Q_{rc} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ro} = 0$$

$$\text{Έδαφος: } Q_a + Q_{\lambda} + Q_{rp} + Q_{cs} + Q_{rc} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ro} = 0$$

$$\text{Κάλυμμα: } Q_a + Q_{\lambda} + Q_{rp} + Q_{rs} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ea} + Q_{ro} = 0$$

όπου: Q_{sr} Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Q_a Ενέργεια με επαγωγή από τον αέρα του χώρου

Q_{ea} Ενέργεια με επαγωγή από την είσοδο εξωτερικού αέρα

Q_p Ενέργεια με επαγωγή από τα φυτά

Q_c Ενέργεια με επαγωγή από το κάλυμμα

Q_h Ενέργεια με επαγωγή από σύστημα θέρμανσης

Q_s Ενέργεια με επαγωγή από το έδαφος

Q_{λ} Ενέργεια με λανθάνουσα θερμότητα από υγρασία αέρα

Q_v Μεταβολή της ενέργειας λόγω ανταλλαγής ύλης με τον εξωτερικό αέρα

Q_{rp} Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία φυτών

Q_{rc} Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία καλύμματος

Q_{rh} Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία συστήματος θέρμανσης

Q_{ro} Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία ουρανού

Q_{rs} Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία εδάφους

Q_{cs} Ενέργεια με αγωγιμότητα στο έδαφος

Q_{sr} Ακτινοβολία από τον ήλιο

Οι όροι αυτών των ισοτήτων είναι όμοιοι με αυτούς που αναφέρθηκαν στην ενότητα για την μετάδοση θερμότητας. Για την επίλυσή τους θα πρέπει να δοθούν οι κατάλληλες τιμές στους συντελεστές θερμικής μεταφοράς, παράγοντες σχήματος και ιδιότητες των υλικών, όπως περατότητα και εκπεμπτικότητα του υλικού κάλυψης, θερμική αγωγιμότητα του εδάφους κλπ.

Θα πρέπει επίσης να δοθούν οι τιμές των οριακών συνθηκών (boundary conditions), οι οποίες επιδρούν στη ροή ενέργειας, αλλά δεν επηρεάζονται από αυτή. Ανάλογα με το πώς επιλύει κανείς το πρόβλημα στις οριακές συνθήκες μπορεί να περιλαμβάνονται η θερμοκρασία του εδάφους σε αρκετό βάθος κάτω από το θερμοκήπιο ώστε να παραμένει σταθερή, η εξωτερική θερμοκρασία αέρα, η θερμοκρασία ουρανού, η ταχύτητα αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία. Οι ισότητες του ισοζυγίου ενέργειας λύνονται συνήθως αριθμητικά και δίνουν τη θερμοκρασία κάθε συστατικού. Προστίθεται επίσης και το ισοζύγιο υδρατμών στο μοντέλο, ώστε να μπορεί να ερευνηθεί η σχετική υγρασία του αέρα και η διαπνοή των φυτών. Το ισοζύγιο υδρατμών δίδεται από τον τύπο:

$$M_t - M_c - M_e = 0$$

Όπου: M_t είναι η εξατμισοδιαπνοή

M_c είναι η συμπύκνωση στο κάλυμμα

M_e απώλειες που προέρχονται από τις διαρροές (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

2.3 Κέρδη και απώλειες ενέργειας

Τα θερμικά κέρδη είναι αισθητά ή λανθάνοντα. Το θερμικό κέρδος είναι *αισθητό* όταν υπάρχει μια απευθείας προσθήκη θερμότητας στον κλιματιζόμενο χώρο με ένα οποιοδήποτε ή όλους μαζί τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας που αναφέρθηκαν (αγωγιμότητα, επαγωγή, ακτινοβολία). Το θερμικό κέρδος είναι *λανθάνον* όταν προστίθεται υγρασία στο θερμοκήπιο με εξάτμιση ή διαπνοή μέσα στο χώρο ή με μεταφορά υδρατμών από το εξωτερικό περιβάλλον. Η ποσότητα ενέργειας (ψυκτικής) που απαιτείται για τη συμπύκνωση αυτών των πρόσθετων υδρατμών είναι το λανθάνον θερμικό κέρδος (Ιωαννίδης, 1984)

Προσθήκη θερμότητας στα θερμοκήπια

Μεγάλα ποσά θερμότητας προστίθενται στο θερμοκήπιο το χειμώνα με τα μέσα θέρμανσης και το καλοκαίρι με την ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως έχει αναφερθεί τα υλικά κάλυψης και κατασκευής των θερμοκηπίων μειώνουν κατά 13 – 35 % την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στα θερμοκήπια λόγω απορροφήσεων

και ανακλάσεων. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια ηλιόλουστη καλοκαιρινή μέρα, σε ακάλυπτο χώρο, έχει βρεθεί ότι φτάνει μέχρι $780 \text{ Kcal/ώρα στο } \text{m}^2$.

Θερμότητα προστίθεται στο θερμοκήπιο με τα μέσα θέρμανσης, όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την επιθυμητή. Η προσθήκη τεχνητής θέρμανσης προϋποθέτει δαπανηρές εγκαταστάσεις και καύσιμα.

Η θερμότητα που ανεβαίνει από μεγάλο βάθος της γης και προστίθεται στο θερμοκήπιο, είναι αμελητέα ποσότητα ($60 \text{ cal/m}^2/\text{ώρα}$) που μόλις αντιπροσωπεύει τα $0,02 \%$ των απαιτήσεων του θερμοκηπίου σε θέρμανση.

Η θερμότητα που ελευθερώνεται με την αναπνοή των φυτών, μόλις φτάνει το $0,3 - 0,4 \%$ της θερμότητας που προστίθεται στο θερμοκήπιο με την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή είναι ένα μικρό ποσό ($2 - 3 \text{ Kcal/m}^2/\text{ώρα}$), που συνήθως παραλείπεται στους υπολογισμούς.

Απώλειες θερμότητας στα θερμοκήπια

Το θερμοκήπιο χάνει ενέργεια με τον εξαερισμό και τις διαρροές του αέρα, με συναγωγή και με ακτινοβολία από το κάλυμμα.

Διάφορες έρευνες έδειξαν, ότι οι απώλειες θερμότητας στα θερμοκήπια, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, από την εποχή και τις καιρικές συνθήκες, από το είδος του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου, τον προσανατολισμό του και το μέγεθός του.

Η απώλεια θερμότητας με την φωτοσύνθεση των φυτών είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με άλλες απώλειες και παραλείπεται στους υπολογισμούς.

Οι απώλειες προς το έδαφος, εκτός από τις κρύες νύκτες του χειμώνα, θεωρούνται αμελητέες.

Η απώλεια θερμότητας με την εξάτμιση νερού και την διαπνοή των φυτών είναι ένα μεγάλο ποσοστό κυρίως τις μέρες με ισχυρή ηλιοφάνεια. Από έρευνες έχει βρεθεί ότι το 50% περίπου από την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια σε θερμοκήπιο καλλιέργειας τομάτας ύψους $1,8 \text{ m}$, καταναλώνεται με εξατμισοδιαπνοή (Γραφιαδέλλης, 1987)

2.4 Προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή των ήπιων μορφών ενέργειας

Όταν σχεδιάζεται η εγκατάσταση ενός συστήματος ήπιων μορφών ενέργειας για θέρμανση θερμοκηπίου, το πρόγραμμα λειτουργίας του θα πρέπει να προσαρμοσθεί με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας. Η επιθυμητή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύκτας προσδιορίζεται από τις απαιτήσεις του φυτού που καλλιεργείται. Νέες έρευνες σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή των φυτών, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η νυκτερινή θερμοκρασία μπορεί να μεταβάλλεται μέσα σε ορισμένα όρια,

αρκεί η μέση θερμοκρασία μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα 7 – 10 ημερών να είναι ίση με τη χαρακτηριστική της καλλιέργειας.

Επίσης στην εγκατάσταση ενός συστήματος ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να εφαρμόζονται παράλληλα όλοι οι δυνατοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου.

Κατασκευαστικές επεμβάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας

Α. Οι μεγαλύτερες απώλειες του θερμοκηπίου σε ενέργεια προέρχονται από την επιφάνεια του καλύμματός του. Όσο μεγαλύτερη επιφάνεια έχει το κάλυμμα ενός θερμοκηπίου τόσο οι απώλειες είναι μεγαλύτερες.

Β. Σημαντικό ρόλο παίζει ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης. Ένα θερμοκήπιο με διπλό κάλυμμα πλαστικού έχει μειωμένη θερμοπερατότητα και εξοικονομεί θερμότητα μέχρι και 40 %, συγκρινόμενο με ένα απλό θερμοκήπιο πλαστικού ή ακόμα και τζαμιού. Κατασκευαστικά όμως είναι δύσκολο. Στα θερμοκήπια με διπλή κάλυψη θα πρέπει να έχει προβλεφθεί αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού, διότι γρήγορα υπερθερμαίνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

Γ. Η χρησιμοποίηση θερμοκουρτίνας κατά τη διάρκεια της νύκτας, που απομονώνει την οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου, μειώνει σημαντικά τον συντελεστή θερμοπερατότητας του θερμοκηπίου και εξοικονομεί ενέργεια μέχρι 50%.

Δ. Μια προσεγμένη κατασκευή, χωρίς σημεία διαφυγών του αέρα, εξοικονομεί καύσιμα από 5 – 25 %, διότι μεγάλη ποσότητα θερμότητας χάνεται από διαρροές αέρα, στα σημεία ένωσης των τζαμιών ή εκεί όπου ενώνονται οι επιφάνειες των πλαστικών φύλλων και στην περίμετρο των θυρών και παραθύρων.

Ε. Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου προκαλεί αύξηση των απωλειών θερμότητας ενός θερμαινόμενου θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες ενέργειας σ' ένα θερμαινόμενο θερμοκήπιο διπλασιάζονται με μια αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από 0 στα 25 Km/h. Σε μια ανεμόπληκτη περιοχή ένας αποτελεσματικός ανεμοφράκτης που μειώνει κατά 50% περίπου την ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μειώσει την ετήσια ζήτηση ενέργειας κατά 3 - 6 %. Ο ανεμοθραύστης τοποθετείται συνήθως από τη βορινή πλευρά για προστασία από τους βόρειους ψυχρούς ανέμους. Αν ο ανεμοθραύστης τοποθετηθεί σε άλλη

πλευρά, θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση που να μην προκαλεί σκιά οποιαδήποτε ώρα της ημέρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Η τοποθεσία

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των Αλυκών, σε εμπορικό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας.

3.2 Το θερμοκήπιο

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε ένα διπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο επιφάνειας 847m² (61 μέτρα μήκος και 14 μέτρα πλάτος), με μέγιστο ύψος 4m στον κορφιά, ενώ το ύψος του ορθοστάτη έφτανε τα 2,3 μέτρα. Το υλικό του σκελετού ήταν γαλβανισμένος χάλυβας.

3.3. Αερισμός - Θέρμανση

Το θερμοκήπιο διέθετε δύο ανεμιστήρες.

Η θέρμανση του θερμοκηπίων ήταν επιδαπέδια με σωλήνες πλαστικούς που περιείχαν νερό.

3.4. Η καλλιέργεια

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας, (*Lycopersicon esculentum*). Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε δεκατέσσερις σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0,65m επί της γραμμής και 1m μεταξύ των γραμμών.

3.5. Καλλιεργητικές τεχνικές

Στο θερμοκήπιο ακολουθήθηκαν καλλιεργητικές τεχνικές όμοιες με αυτές που ακολουθούν οι παραγωγοί.

Τα φυτά αναπτύχθηκαν μονοστέλεχα από το σκελετό του θερμοκηπίου. Οι πλάγιοι βλαστοί αφαιρούνταν σε τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μια φορά την εβδομάδα). Μετά τη συγκομιδή των καρπών της πρώτης ταξικαρπίας αφαιρέθηκαν τα υποκείμενα φύλλα, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες αερισμού, να αποφευχθεί η ανάπτυξη ασθενειών, να διευκολυνθεί η συλλογή των καρπών και απομακρυνθούν φύλλα που δε φωτοσυνθέτουν πλέον αλλά μόνο καταναλώνουν θρεπτικά συστατικά σε βάρος της παραγωγής. Το ίδιο επαναλήφθηκε στην δεύτερη ταξικαρπία. Επίσης, στο θερμοκήπιο γινόταν έλεγχος των εντόμων και των ασθενειών.

3.6. Πραγματοποίηση των μετρήσεων

3.6.1 Μετρήσεις των φυτών

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 23/2/2005 και συνεχίστηκαν μέχρι τις 1/7/2005. Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις έγιναν στις 23/2, 26/2, 1/3, 4/3, 8/3, 11/3, 18/3, 26/3, 2/4, 10/4, 25/4, 9/5, 5/6, 1/7. Οι μετρήσεις γίνονταν στο θερμοκήπιο χωρίς τα φυτά να καταστρέφονται. Οι μετρήσεις έγιναν συνολικά για 16 φυτά (8 από κάθε μια από τις δύο μεταχειρίσεις). Οι μετρήσεις έγιναν σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος συνολικά 14 φορές, μετρούνταν τα εξής μεγέθη :

- **Το ύψος του στελέχους**

Η μέτρηση του μήκους αφορούσε την απόσταση από το λαιμό του φυτού μέχρι το σημείο εμφάνισης του φύλλου στην κορυφή με μήκος μικρότερο από 15 cm.

- **Ο αριθμός των εμφανών φύλλων**

Η μέτρηση αφορούσε το συνολικό αριθμό φύλλων ανά φυτό.

- **Το μήκος και το πλάτος των φύλλων (cm)**

Ως μήκος (L) του φύλλου είχε οριστεί η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος και ως πλάτος (W) του φύλλου η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις άκρες του ελάσματος, κάθετη στο μήκος του φύλλου. Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται ο τρόπος μέτρησης του μήκους και του πλάτους του φύλλου της τομάτας (φύλλο B).

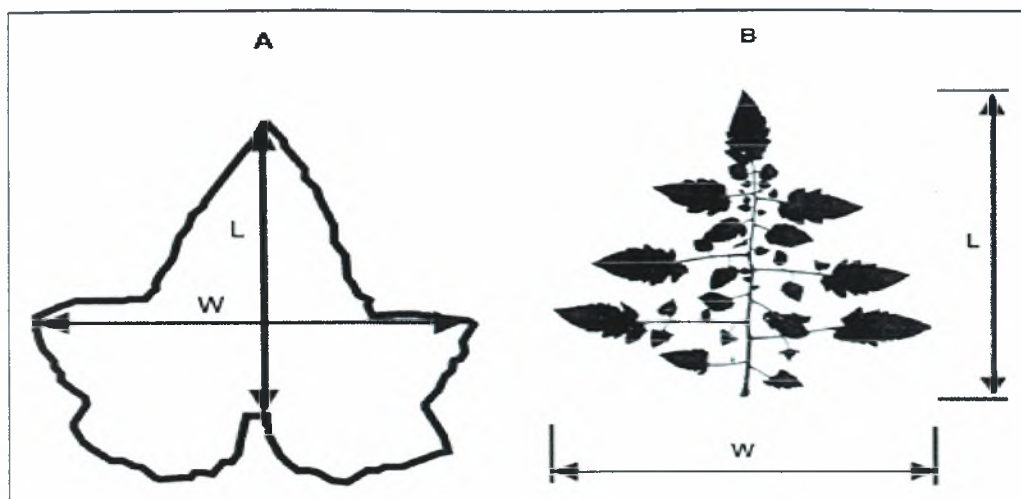


Figure 1. Diagram of cucumber (A) and tomato (B) leaf showing positions of length (L) and width (W) measurements. Piracicaba, ESALQ/USP, 1999/2001.

Σχήμα 3.1. Σχήμα φύλλου αγγουριού(A) και τομάτας (B)

- **Ο αριθμός των εμφανών ταξιανθιών**
- **Ο αριθμός των ανοιχτών ανθέων κάθε ταξιανθίας και ο αριθμός των υπαρχόντων (ωρίμων & μη) καρπών ανά ταξιανθία**

Από των αριθμό ανοιχτών και κλειστών ανθέων ανά ταξιανθία μπορούμε να αποφανθούμε εάν μια ταξιανθία είναι κλειστή ή ανοιχτή. Ως ανοιχτή θεωρείται η ταξιανθία της οποίας το 50 % και άνω των ανθέων της είναι ανοιχτά.

3.6.2 Κλιματικές Μετρήσεις

Οι κλιματικές μετρήσεις αφορούσαν τη θερμοκρασία του αέρα έξω από το θερμοκήπιο, τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο στο έδαφος και σε κάποιο ύψος από το έδαφος, τη σχετική υγρασία μέσα στο θερμοκήπιο στο έδαφος και σε κάποιο ύψος από το έδαφος, τη θερμοκρασία του σωλήνα και την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

A) Οι μετρήσεις στο εξωτερικό του θερμοκηπίου έγιναν με τα εξής όργανα:

1. Η θερμοκρασία και η υγρασία μετρήθηκαν με τη βοήθεια ψυχομέτρων υγρού και ξηρού βολβού (Model VP1, Delta-T devises) και

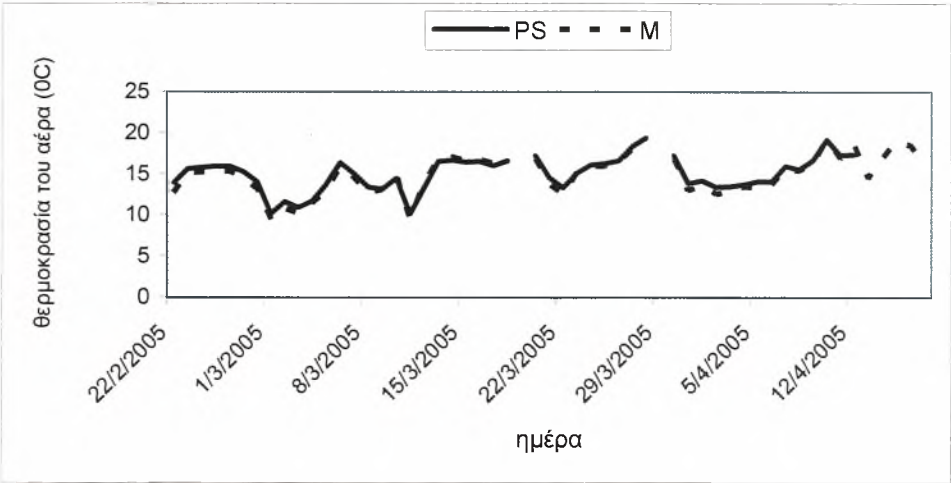
B) Όσο αφορά τις μετρήσεις των κλιματικών παραγόντων μέσα στο θερμοκήπιο, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες διατάξεις:

1. Τέσσερα (4) δικάναλα καταγραφικά θερμοκρασίας/ υγρασίας, με μνήμη 64K, HOBO Pro RH/Temp Data Logger H08-032-08 (η ανάκτηση των δεδομένων έγινε με το λογισμικό BoxCar Pro 4.3) για μέτρηση θερμοκρασίας ($T_{d.t}$, $^{\circ}\text{C}$) και σχετικής υγρασίας αέρα (RH_i , %) του αέρα.
2. Δύο πυρανόμετρα (SKYE Αγγλίας SKS 1110 Pyranometer, Εύρος: 0-1500 περίπου W/m^2 , Μήκος κύματος: 400-1100nm, Ακρίβεια: 3%, Μονάδα: W/m^2) για μέτρηση ολικής ηλιακής (άμεση και διάχυτη) ακτινοβολίας (G_i , W/m^2) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα και Συζήτηση

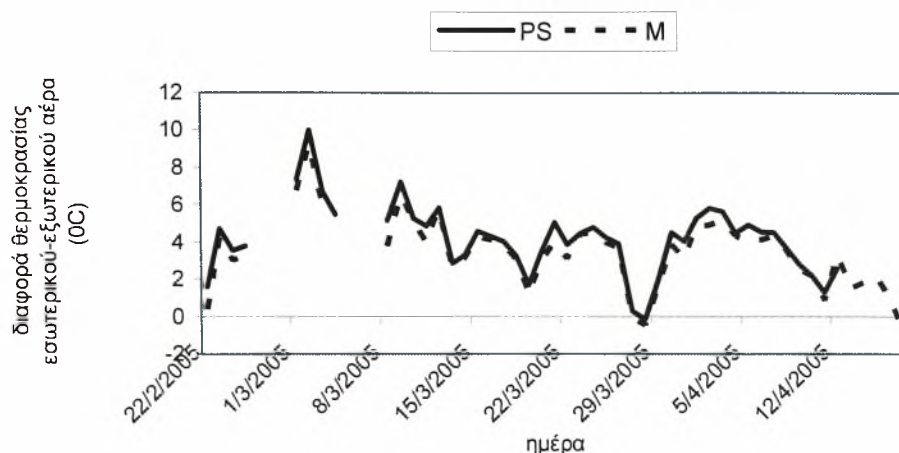
4.1 Κλιματικές Μετρήσεις

Τα παρακάτω γραφήματα αφορούν τις κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο των μετρήσεων για τις δύο περιπτώσεις.



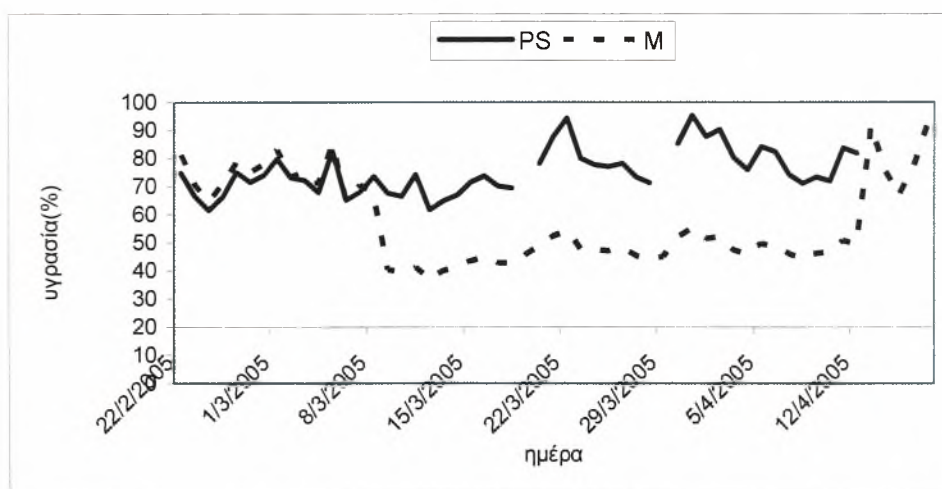
Γράφημα 4.1.Θερμοκρασία αέρα στο θερμοκήπιο (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται ότι η θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου κατά το χρονικό διάστημα του πειράματός μας είναι σχεδόν η ίδια στις δύο περιοχές του θερμοκηπίου. Μόνο κατά 1⁰C είναι μεγαλύτερη η θερμοκρασία εκεί όπου υπάρχει το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης.



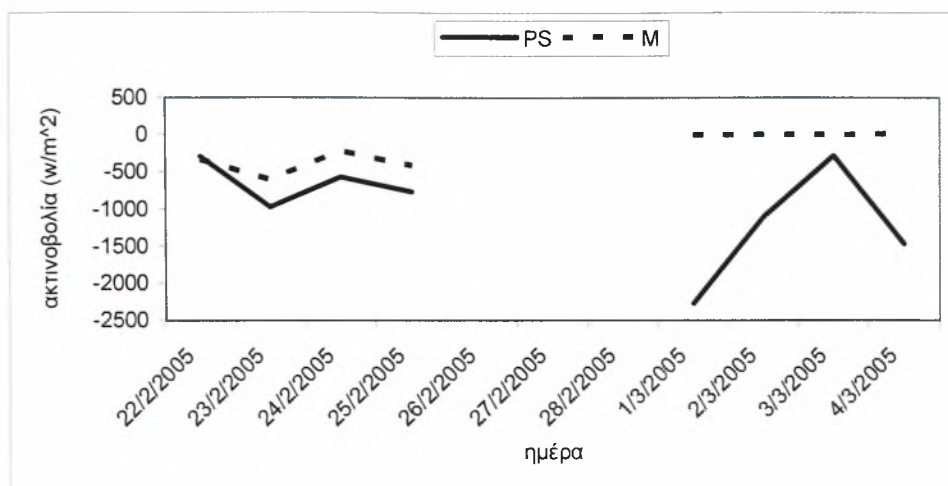
Γράφημα 4.2. Διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, Μ: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Όπως ήταν αναμενόμενο, από το προηγούμενο διάγραμμα, η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα είναι μεγαλύτερη κατά 1°C περίπου για το χώρο που έχει το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης.



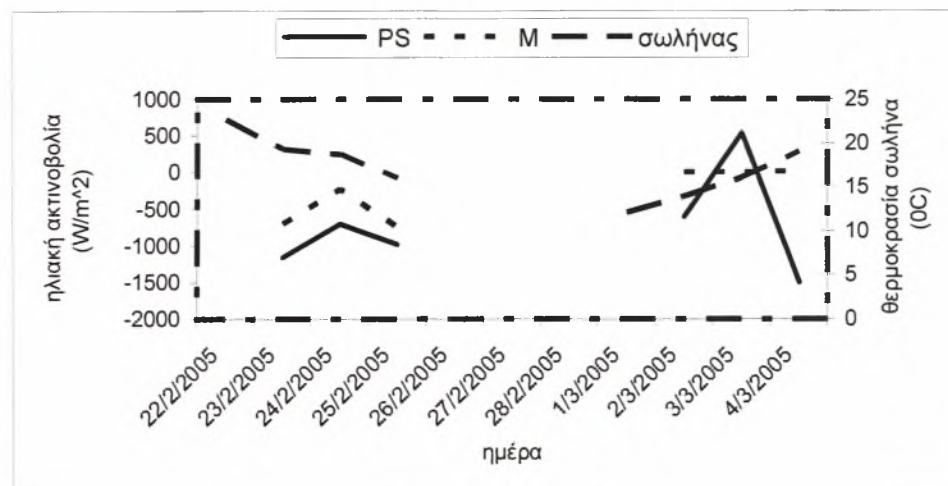
Γράφημα 4.3. Σχετική υγρασία.(PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, Μ: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Εδώ φαίνεται ότι η υγρασία είναι κατά πολύ υψηλότερη στο χώρο με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης απ' ότι στο μάρτυρα (περίπου κατά 40%), μετά από κάποιο χρονικό σημείο. Ίσως αυτό να οφείλεται στο ότι με τη θέρμανση προκαλείται αύξηση της εξατμισοδιαπνοής.



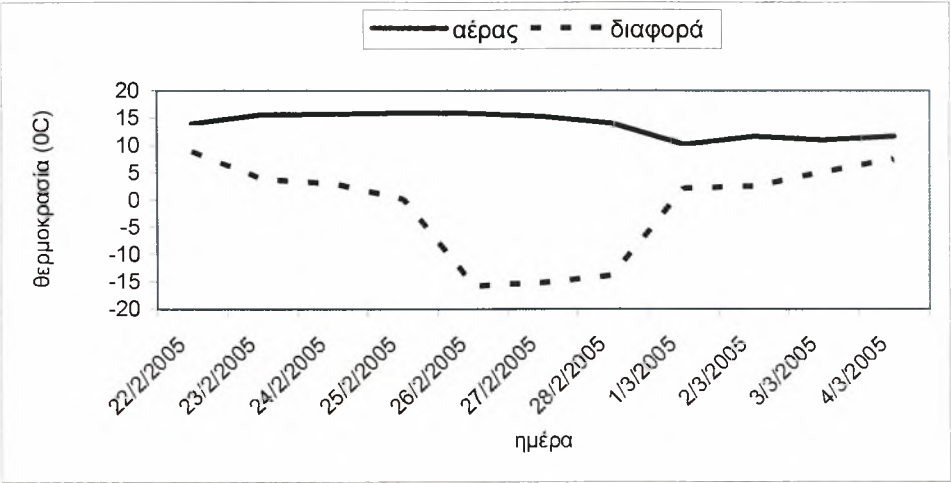
Γράφημα 4.4. Καθαρή Ηλιακή Ακτινοβολία. (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Σε αυτό το γράφημα φαίνεται ότι πολύ περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται στην περιοχή με το παθητικό ηλιακό σύστημα. Αυτό συμβαίνει γιατί εκτός από τα φυτά και το έδαφος απορροφά ακτινοβολία και το παθητικό ηλιακό σύστημα για να την αποθηκεύσει ως θερμική ενέργεια την οποία θα αποδώσει αργότερα.



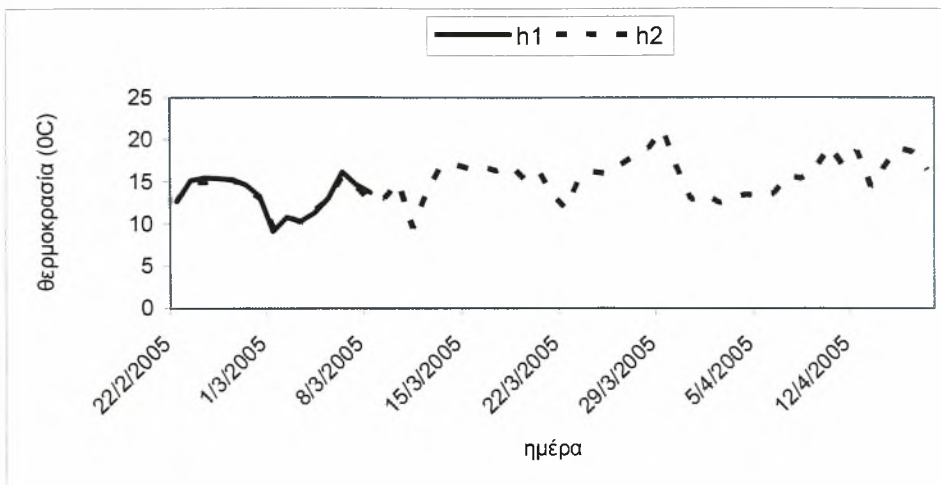
Γράφημα 4.5. Καθαρή Ηλιακή Ακτινοβολία και θερμοκρασία σωλήνα.(PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Από αυτό το διάγραμμα παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του σωλήνα μεταβάλλεται ανεξάρτητα από την ακτινοβολία που απορροφάται



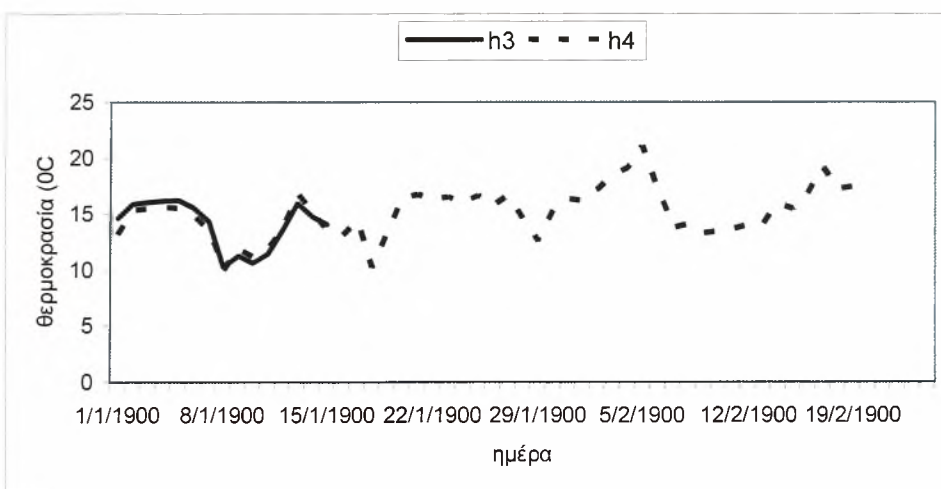
Γράφημα 4.6. Θερμοκρασία αέρα και Διαφορά θερμοκρασίας σωλήνα-αέρα (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Επίσης η θερμοκρασία του σωλήνα μεταβάλλεται ανεξάρτητα από την θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου στο χώρο αυτό.



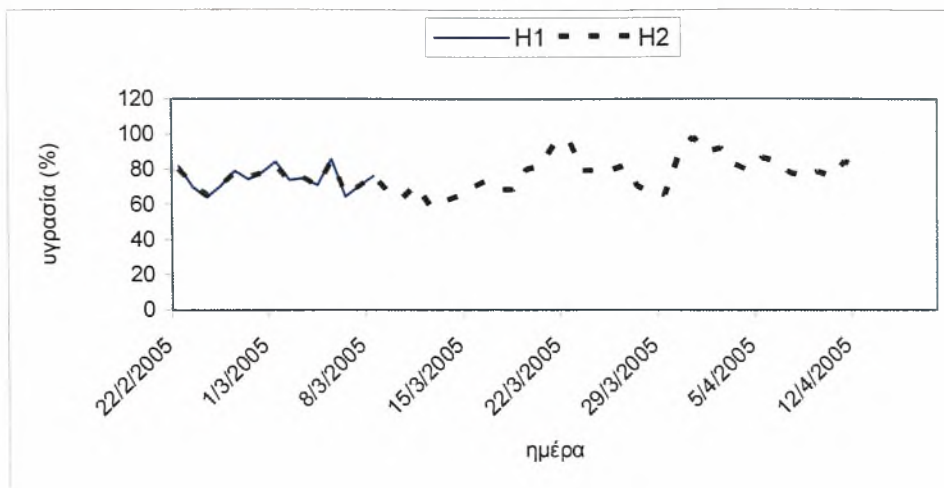
Γράφημα 4.7. Θερμοκρασία στην περιοχή χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα ψηλά (ύψος φυτών) και χαμηλά (έδαφος) (h2 χαμηλά, h1 ψηλά)

Εδώ βλέπουμε ότι η θερμοκρασία στο μάρτυρα είναι η ίδια χαμηλά (έδαφος) και ψηλά (ύψος φυτών), δηλαδή μεταβάλλεται ομοιόμορφα κατά το ύψος.



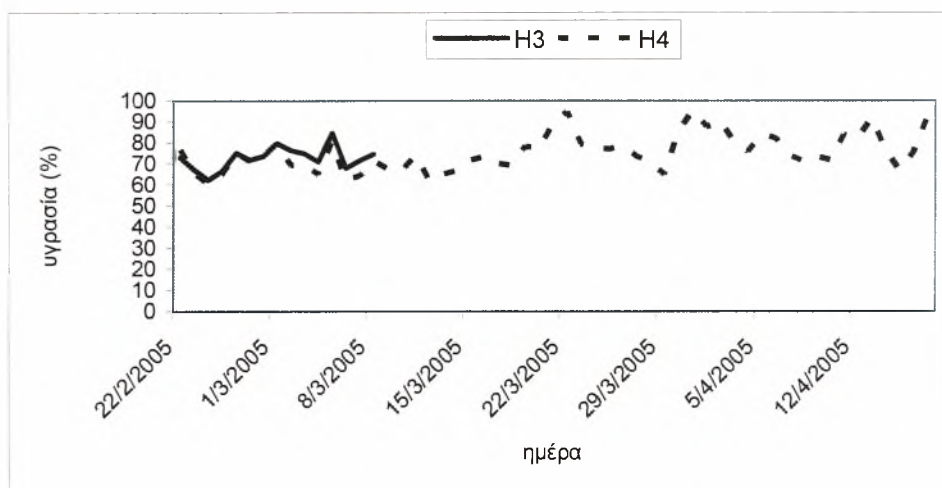
Γράφημα 4.8. Θερμοκρασία στην περιοχή με το παθητικό ηλιακό σύστημα ψηλά (ύψος φυτών) και χαμηλά (έδαφος) (h4 χαμηλά, h3 ψηλά)

Επίσης και στο χώρο με το παθητικό ηλιακό σύστημα είναι η ίδια θερμοκρασία χαμηλά (έδαφος) και ψηλά (ύψος φυτών) δηλαδή το παθητικό ηλιακό σύστημα θερμαίνει ομοιόμορφα το χώρο του θερμοκηπίου.



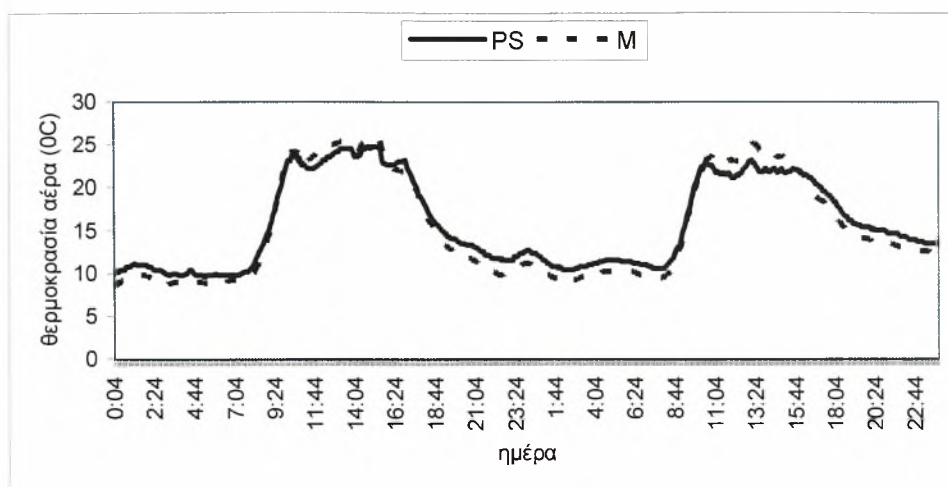
Γράφημα 4.9. Υγρασία στην περιοχή χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα ψηλά (ύψος φυτών) και χαμηλά (έδαφος) (h2 χαμηλά, h1 ψηλά)

Κατά τον ίδιο τρόπο και η υγρασία μεταβάλλεται ομοιόμορφη κατά ύψος



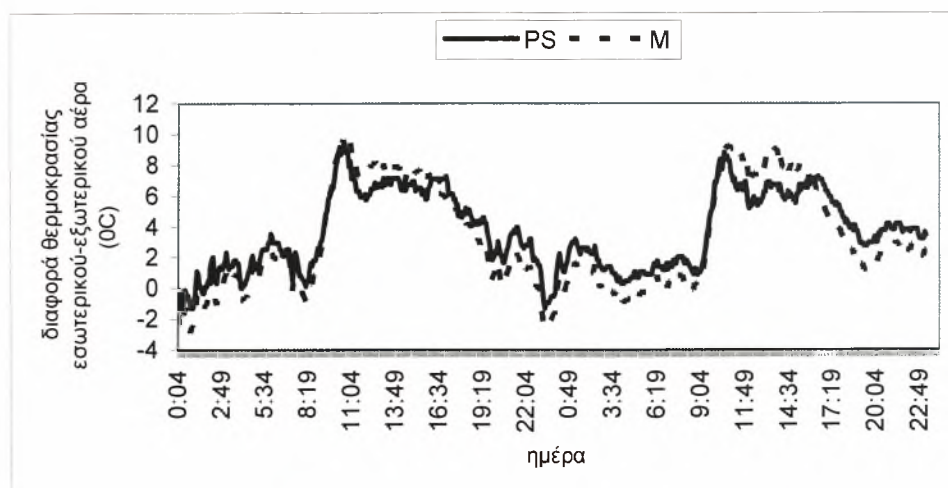
Γράφημα 4.10. Υγρασία στην περιοχή με το παθητικό ηλιακό σύστημα ψηλά και χαμηλά (h4 χαμηλά, h3 ψηλά)

Το παθητικό ηλιακό σύστημα δεν δημιουργεί διαφορά υγρασίας του αέρα ανάμεσα σε σημεία με διαφορετικό ύψος.



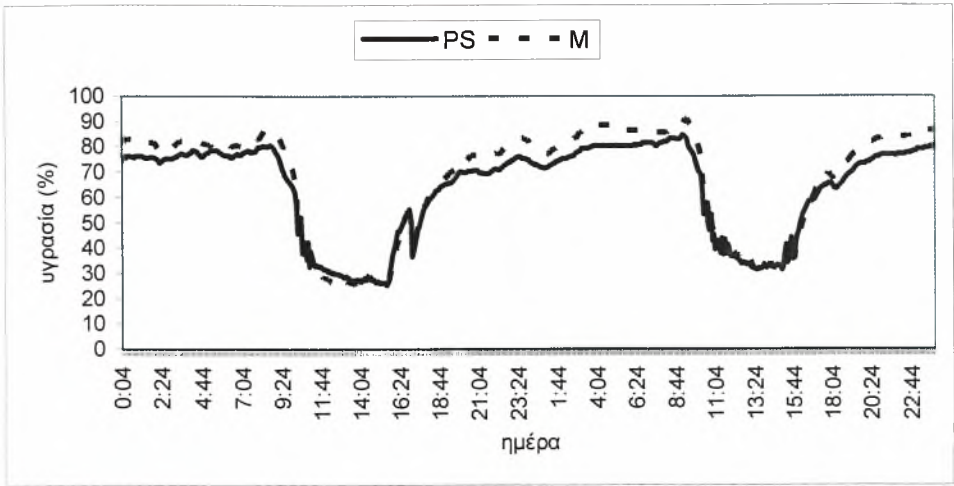
Γράφημα 4.11. Θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο για τις 24/2 και 25/2 (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η θερμοκρασία του αέρα στους δύο χώρους του θερμοκηπίου για τις μέρες 24/2 και 25/2. Όπως για όλο το χρονικό διάστημα του πειράματος έτσι και αυτές τις συγκεκριμένες ημέρες η θερμοκρασία στο χώρο με το παθητικό ηλιακό σύστημα ήταν κατά 1°C υψηλότερη. Τις μεσημβρινές όμως ώρες συνέβαινε το αντίθετο ίσως γιατί τότε απορροφούσε θερμική ενέργεια το σύστημα θέρμανσης για να την αποδώσει αργότερα.



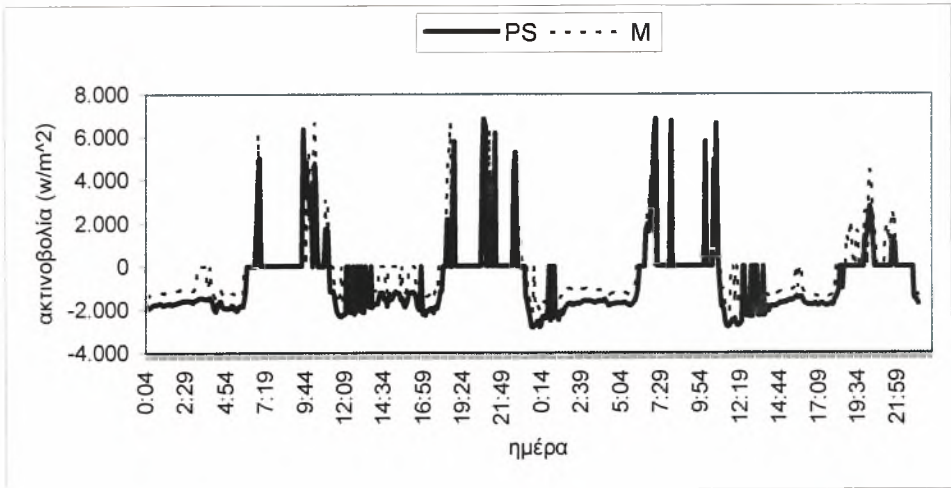
Γράφημα 4.12. Διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα για τις 24/2 και 25/2 (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Έτσι ανάλογη είναι και η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα για αυτές τις μέρες.



Γράφημα 4.13. Υγρασία για τις 24/2-25/2 (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Η υγρασία στον χώρο με παθητικό ηλιακό σύστημα είναι χαμηλότερη τη νύχτα απ’ ότι χωρίς αυτό.

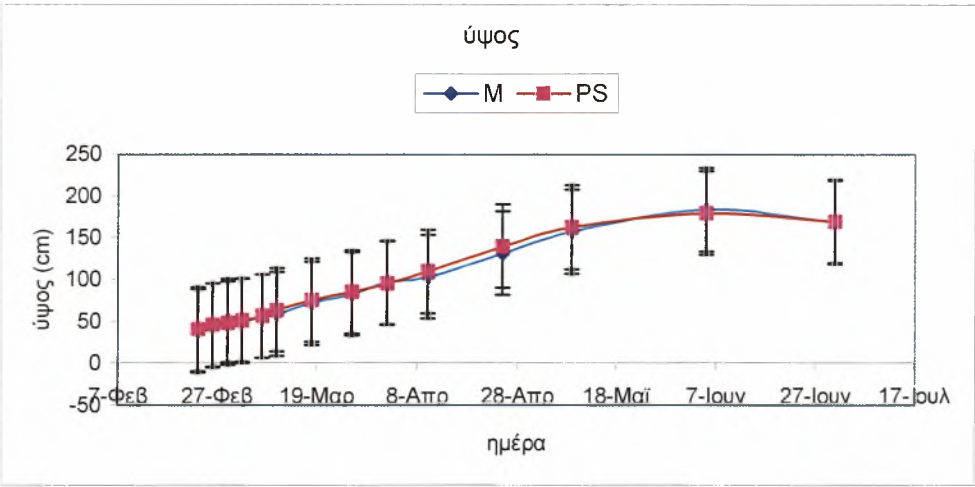


Γράφημα 4.14. Καθαρή Ακτινοβολία για τις 24/2 και 25/2 (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Τις ώρες με ηλιοφάνεια συσσωρεύεται θερμότητα με ακτινοβολία για να αποδοθεί τις άλλες ώρες.

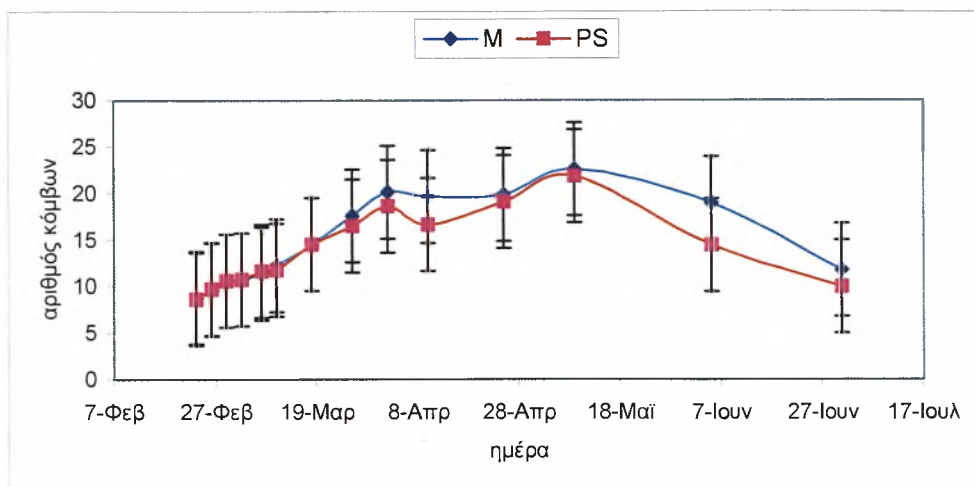
4.2 Μετρήσεις μεγεθών των φυτών στο θερμοκήπιο

Τα παρακάτω γραφήματα αφορούν τις μετρήσεις που έγιναν στα φυτά για το ύψος τους, τον αριθμό κόμβων τους, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, την φυλλική επιφάνειά τους και τον αριθμό ταξιανθιών και φρούτων τους. Στόχος ήταν η διαπίστωση ύπαρξης σημαντικών διαφορών ανάμεσα στους μέσους όρους των τιμών που προέρχονται από τις δύο διαφορετικές μεταχειρήσεις.



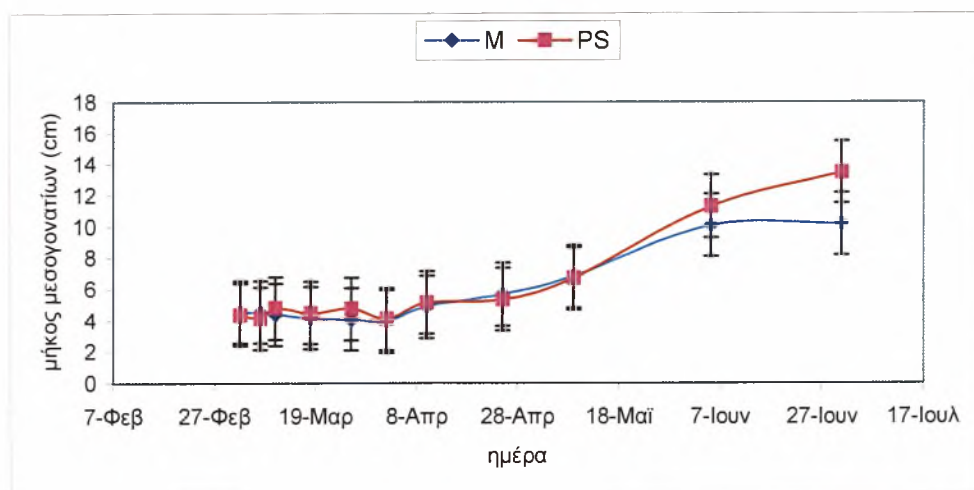
Γράφημα 4.15. Ύψος φυτών σε cm (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Σύμφωνα με το γράφημα 4.15 ο ρυθμός αύξησης του μήκους των φυτών είναι σχεδόν ο ίδιος για τα φυτά της μιας και της άλλης μεταχείρισης. Άρα το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης δεν επηρέασε σημαντικά το μήκος των φυτών της τομάτας.



Γράφημα 4.16. Αριθμός κόμβων στα φυτά. (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

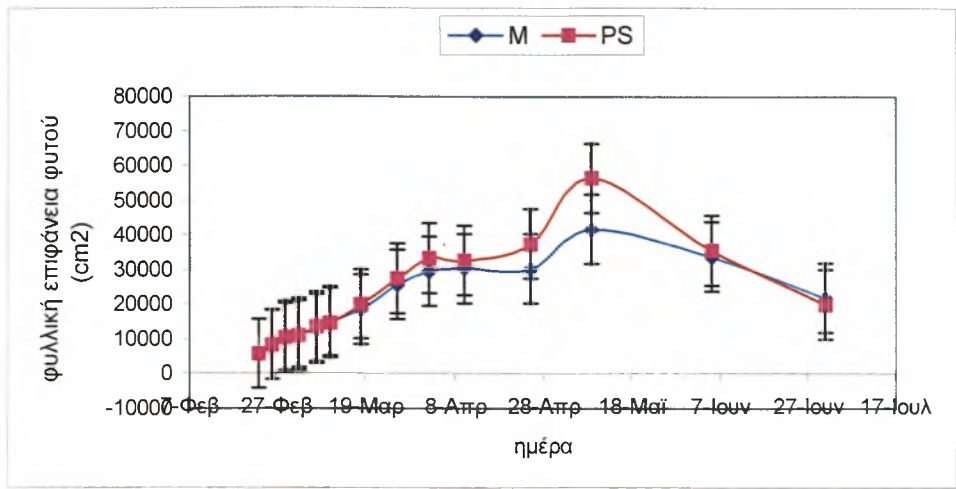
Σύμφωνα με το γράφημα 4.16 από τις 25 Μαρτίου έως την 1 Ιουλίου ο αριθμός των κόμβων ήταν μικρότερος στα φυτά του χώρου με το παθητικό ηλιακό σύστημα από ότι στα φυτά στο χώρο του μάρτυρα. Η στατιστική ανάλυση των πειραματικών τιμών όμως δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.



Γράφημα 4.17. Μήκος μεσογονατίων διαστημάτων σε cm. (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

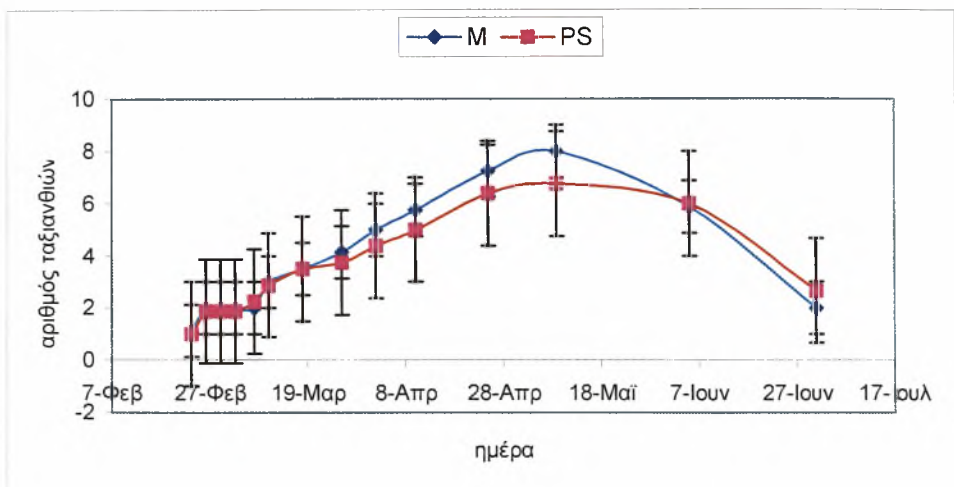
Στο γράφημα 4.17 παρατηρείται ότι από τις 9 Μαΐου και μετά το μήκος των μεσογονατίων ήταν μεγαλύτερο στα φυτά του χώρου με το παθητικό ηλιακό σύστημα. Η στατιστική

ανάλυση απέδειξε ότι δεν υπήρξε καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.



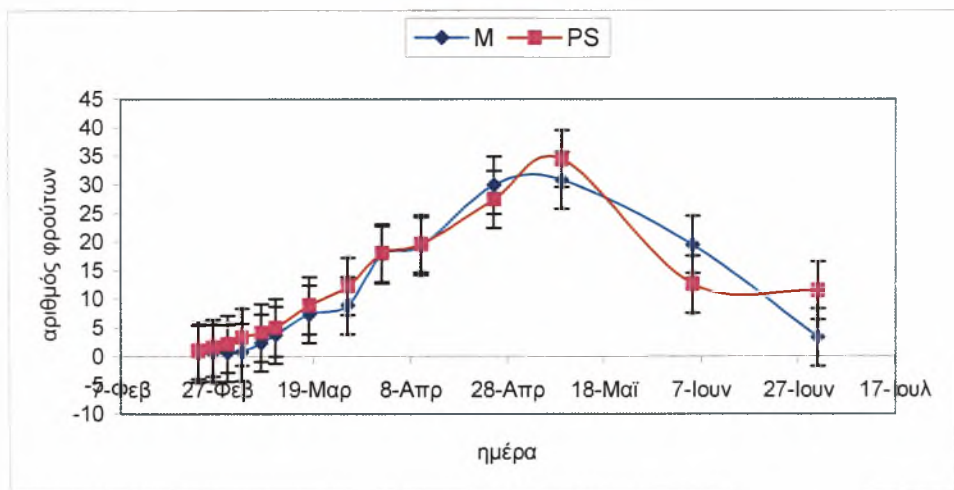
Γράφημα 4.18. Φυλλική Επιφάνεια φυτών σε cm2 (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Στο γράφημα 4.18 παρατηρείται ότι από τις 11 Μαρτίου μέχρι 6 Ιουνίου ο ρυθμός αύξησης του συνολικού αριθμού των φύλλων είναι μεγαλύτερος για τα φυτά του χώρου με το παθητικό ηλιακό σύστημα. Δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.



Γράφημα 4.19. Αριθμός ταξιανθιών στα φυτά. (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Στο γράφημα 4.19 παρατηρείται ότι από τις 18 Μαρτίου μέχρι τις 10 Ιουνίου ήταν μικρότερη η αύξηση του συνολικού αριθμού των ανθέων στα φυτά που βρίσκονταν στο χώρο με το παθητικό ηλιακό σύστημα από ότι στα φυτά στο χώρο του μάρτυρα ενώ από τις 10 Ιουνίου και μετά έγινε το αντίθετο. Η στατιστική ανάλυση δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.



Γράφημα 4.20. Αριθμός φρούτων στα φυτά. (PS: Περιοχή του θερμοκηπίου με παθητικό ηλιακό σύστημα, M: Περιοχή του θερμοκηπίου χωρίς παθητικό ηλιακό σύστημα (μάρτυρας))

Σύμφωνα με το γράφημα 4.20 ο ρυθμός αύξησης του αριθμού των φρούτων στα φυτά στο χώρο με το παθητικό ηλιακό σύστημα μεταβάλλεται συνέχεια ως προς εκείνον για τα φυτά

της περιοχής του μάρτυρα και πότε είναι μεγαλύτερος πότε μικρότερος. Δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω γραφήματα οι μεταβολές στις τιμές των μεγεθών που μετρήθηκαν στα φυτά ήταν οι ίδιες περίπου για τα φυτά που βρίσκονταν στην περιοχή του θερμοκηπίου με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης και για τα φυτά στην περιοχή του μάρτυρα. Όπως φαίνεται και από την τυπική απόκλιση που είναι σχεδιασμένη στα γραφήματα δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές των δύο μεταχειρίσεων. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε γιατί το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης δεν επηρεάζει την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών είτε γιατί το κλίμα στο χώρο του μάρτυρα επηρεάστηκε από το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης, το οποίο, αν και σε κάποια απόσταση από την περιοχή του μάρτυρα, βρισκόταν στο ίδιο θερμοκήπιο, και έτσι δεν υπήρχε καθαρά απουσία του συστήματος στο μάρτυρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση στο ύψος των φυτών, τον αριθμό κόμβων τους, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, τη φυλλική επιφάνειά τους και τον αριθμό ταξιανθιών και φρούτων τους. Στο κεφάλαιο 4 έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πειράματος με διαγράμματα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φυτά δεν επηρεάζονται από την παρουσία του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης, καθώς η στατιστική ανάλυση των τιμών για τα παραπάνω μεγέθη δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, ούτε υπήρχε κάποια γενικότερη εμφανής μακροσκοπικά διαφοροποίηση στη μορφολογία των φυτών, στις δύο διαφορετικές περιοχές του θερμοκηπίου.

Επίσης όμως γινόταν και μετρήσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο. Στο κεφάλαιο 4 έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων και αυτών των μετρήσεων με διαγράμματα. Διαπιστώθηκαν μικρές διαφορές μεταξύ των παραπάνω κλιματικών συνθηκών στους δύο χώρους του θερμοκηπίου. Μάλλον αυτό οφείλεται στο ότι οι δύο μεταχειρίσεις, αν και βρίσκονταν σε κάποια απόσταση μεταξύ τους, βρίσκονταν στο ίδιο θερμοκήπιο, χωρίς κάποιο διαχωριστικό μεταξύ τους, και έτσι και το κλίμα στο χώρο του μάρτυρα επηρεαζόταν από το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης που υπήρχε μόνο στον άλλο χώρο.

Το ότι υπήρχαν παρόμοιες κλιματικές συνθήκες στους δύο χώρους του θερμοκηπίου είναι μια πιθανή αιτία (εκτός από τη πιθανότητα το παθητικό ηλιακό σύστημα να μην επιδρά στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών) που δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούσαν την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών.

Βιβλιογραφία

Clufolini C., 1980. Λαχανοκομία – Κηπευτική γενική και ειδική. Εκδόσεις Ψιχάλου. Αθήνα : σελ. 191

Harmanto, Salokhe V.M, Babel M.S, Tantau H.J, 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes in tropical environment. Agricultural Water Requirement **7**: σελ.225-242

Mahajan G and Singh K.G.,2006. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. Agricultural Water Management. Vol.84, issues 1-2 : σελ. 202-206

Ολύμπιος X. M., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.: σελ. 28-29, 110

Λόλας Π. X., 2000. Σημειώσεις στο μάθημα της Φυσιολογίας Φυτού : σελ. 153

Τσέκος Β. Ι, 2003. Φυσιολογία φυτών, τόμος ΙΙ. Εκδόσεις Κυριακίδη. Αθήνα : σελ. 1003-1004

Δημητρακάκης Γ.Κ , 1998. Λαχανοκομία. Εκδόσεις Αγρότυπος Αθήνα : σελ. 224-226

Δαλέζιος Ρ. Ν, 2002. Αγρομετεωρολογία (Πανεπιστημιακές Παραδόσεις). Βόλος : σελ. 18

Κίττας Κ., 2001. Θερμοκήπια. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.

Ιωαννίδης Δ., 1984.Κλιματισμός. Ευγενίδιο Ίδρυμα. Αθήνα: σελ. 31-32

Ανώνυμος, 1999, Γεωργία-Κτηνοτροφία τεύχος 9, 11/1999

Ανώνυμος, 2007, Ενημερωτικό δελτίο ΤΕΕ τεύχος 2448, 16/7/2007

Γραφιαδέλης Μ., 1987, Σύγχρονα θερμοκήπια. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσσαλονίκη: σελ. 86-88, 92-117, 224-229

Μαυρογιαννόπουλος Γ., 1990. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλης. Πειραιάς: σελ. 73-85, 184-217



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091117